



TIMO YRJÄNÄ (toim.)

ENTISTEN UITTOJOKIEN KUNNOSTAMINEN – ESIMERKKINÄ IJOEN VESISTÖALUE

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUS
OULUN VESI- JA YMPÄRISTÖPIIRI
Helsinki 1995

212

TIMO YRJÄNÄ (toim.)

**ENTISTEN UITTOJOKIEN KUNNOSTAMINEN
– ESIMERKKINÄ IJOEN VESISTÖALUE**

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUS
OULUN VESI- JA YMPÄRISTÖPIIRI
Helsinki 1995

Etukannen kuva: Uittoja varten perattua koskea kunnostetaan lijoella
Kuusamossa.
Kuva: Timo Yrjänä

Tekijä on vastuussa julkaisun sisällöstä, eikä siihen voida vedota
vesi- ja ympäristöhallituksen virallisena kannanottona.

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA koskevat tilaukset:
Painatuskeskus Oy, PL 516, 00101 Helsinki
puh. (90) 566 0266

ISBN 951-53-0091-6
ISSN 0786-9592

Helsinki 1995

Julkaisija

Vesi- ja ympäristöhallitus, Oulun vesi- ja ympäristöpiiri

Julkaisun päivämäärä

Tammikuu 1995

Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)

Timo Yrjänä (toim.)

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)

Entisten uittojokien kunnostaminen – esimerkkinä Iijoen vesistöalue

Julkaisun laji

Kooste tutkimustuloksista

Toimeksiantaja

Toimielimen asettamispvm

Julkaisun osat

Tiivistelmä

Tämä julkaisu on kooste eri tutkijoiden Iijoen vesistöalueella tekemistä, entisten uittoväylien kunnostamiseen liittyvistä selvityksistä. Koosteen tarkoituksena on välittää Iijoen vesistöalueella vuodesta 1988 jatkuneiden kunnostusprojektien yhteydessä kertynyt tietämys muille virtavesien kunnostuksesta kiinnostuneille.

Virtavesien kunnostusta suunniteltaessa tarvitaan perustietoa niiden ekologiasta. Virtavesiä kunnostettaessa muutetaan mm. niiden kykyä pidättää orgaanista ainesta. Tällä on huomattava vaikutus mm. pohjaeläinyhteisön koostumukselle. Pohjaeläimistö taantuu kunnostuskohteella työn aikana, mutta palautuu ainakin alkukesällä toteutettujen töiden jälkeen erittäin nopeasti. Vesisammalten levittäytyminen uudelle koskenpohjalle kestää kuitenkin vuosia. Kosken kunnostaminen ei näyttänyt Iijoella tehdyissä kokeissa lisäävän kykyä elättää kesänvanhoja taimenen poikasia. Vuodenikäisiä ja sitä vanhempia taimenen poikasistukkaita kunnostetut kosket näyttivät elättävän perattuja, mutta kunnostamattomia koskia selvästi enemmän. Simppuja ja mutuja tavattiin kunnostetuista koskista vähemmän kuin kunnostamattomista.

Iijoen alueella keskeisenä kunnostusperiaatteena on ollut peratun jokiuoman monimuotoisuuden lisääminen sekä alueellisella että mikrohäbitaattitasolla. Koski-suvanto – vuorottelua on tehostettu, uoman leveys- ja syvyysvaihtelua lisätty sekä pohjan monimuotoisuutta kasvatettu. Monimuotoisuuden lisäksi huomiota on kiinnitetty taimenen ja harjuksen eri elinvaiheiden tarvitsemiin ympäristöihin, muun muassa kutupaikkoihin. Kunnostus on pyritty toteuttamaan siten, että uuden kosken rakenne poikkeaisi mahdollisimman vähän ennen perkauksia vallinneesta tilanteesta.

Kunnostustöiden vaikutuksia on Iijoella seurattu useilla tasoilla. Joen käyttäjien mielipiteitä on tiedusteltu, kalaston ja pohjaeläimistön tilaa havainnoitu. Häbitaatinlaatumallin soveltamistyö kunnostustyön vaikutusten mittaamiseksi ja kunnostusvaihtoehtojen vertaamiseksi on aloitettu.

Asiasanat (avainsanat)

Joet, perkaus, uitto, kunnostus, seuranta, pohjaeläimet, kalat, menetelmien kehittäminen, Iijoen vesistöalue

Muut tiedot

Sarjan nimi ja numero

Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja-
sarja A 212

ISBN

951-53-0091-6

ISSN

0786-9592

Kokonaissivumäärä

84

Kieli

Suomi

Hinta

Luottamuksellisuus

Julkinen

Jakaja

Painatuskeskus Oy
PL 516, 00101 Helsinki

Kustantaja

Vesi- ja ympäristöhallitus
PL 250, 00101 Helsinki

Utgivare

Vatten- och miljöstyrelsen, Uleåborg vatten- och miljödistrikt

Utgivningsdatum

Januari 1995

Författare (uppgifter om organet: namn, ordförande, sekreterare)

Timo Yrjänä (red.)

Publikation (även den finska titeln)

Restaurering av övergivna flottningsleder – Ijo älv flodområde som exempel

Typ av publikation

Uppdragsgivare

Datum för tillsättandet av organet

Publikationens delar

Referat

Den här publikationen är en sammanfattning av utredningar över restaurering av övergivna flottningsleder utredningar gjorda av olika forskare i Ijo älv flodområde. Sammanfattningen gjordes i syfte att ge de kunskaper som samlats i samband med restaureringsprojekter i Ijo älv vattensystem sedan 1988 till andra intresserade av restaurering av strömmande vatten.

När restaurering av floder planeras, behövs elementära kunskaper av deras ekologi. I restaurering av floder förändras t.ex. deras förmåga att absorbera organiskt material. Detta har en betydande inverkan på t.ex. sammansättningen av bottenfauna. Bottenfaunan reduceras i restaureringsplatsen under projektet men blir återställd synnerligen snabbt åtminstone efter arbeten som har genomförts på försommaren. Ändå tar det många år från vattenmossor att utbreda sig i en ny forsbottn. På grund av testerna i Ijo älv förefaller det att restaureringen av forsen inte ökade dess förmåga att underhålla 0+ gamla laxöringar. Det verkar att restaurerade forsar underhåll 1+ och äldre laxöringar betydligtvis bättre än forsar som har rensnats men inte restaurerats. I restaurerade forsar påträffades det färre simpor och elritsor än i orenoverade forsar.

Den centrala restaureringsprincipen i Ijo älv område har varit att öka mångformigheten av flodbädden både på territorial och mikrohabitatisk nivå. Omväxling mellan forsar och lugnvatten har intensifierats, skillnader i flodbäddens bred och djuplek samt diversitet av botten har ökats. Man har ytterligare fästat uppmärksamhet på omgivningar som laxöringar och harrar behöver i sina olika levnadsfaser, t. ex. lekplatser. Man har försökt genomföra restaureringen så att strukturen av den nya forsen avviker så litet som möjligt från läget före rensningar.

Påverkningarna av restaureringsarbeten i Ijo älv har följts på flera nivåer. Åsikter av dem som använder älven har efterfrågats och tillståndet av fiskstammen och bottenfaunan har observerats. Man har börjat tillämpa habitatskvalitetmodell för att uppmäta inverkningsarbetet och för att jämföra olika restaureringsalternativ.

Sakord (nyckelord)

Älv, rensning, timmerflottning, restaurering, observera, bottenhauna, fiskar, utveckla metoden, Iijoki älv flodområde

Övriga uppgifter

Seriens namn och nummer

Vatten- och miljöförvaltningens publicationer serie A 212

ISBN

951-53-0091-6

ISSN

0786-9592

Sidantal

84

Språk

Finska

Pris

Sekretessgrad

Offentlig

Distribution

Tryckericentralen Ab
PB 516 SF-00101 Helsingfors

Förlag

Vatten- och miljöstyrelsen
PB 250, SF-00101 Helsingfors, Finland

DOCUMENTATION PAGE

Published by
National Board of Waters and the Environment,
Oulu Water and Environment District

Date of publication

January 1995

Author(s)
Timo Yrjänä (ed.)

Title of publication
Restoration of former log floating rivers using Iijoki water system as an example

Type of publication *Commissioned by*

Parts of publication

Abstract

This publication is a summary of studies on restoration of former log floating channels. These studies were carried out by several researchers in Iijoki water system. The purpose of this publication is to share the knowledge gathered during the restoration projects in Iijoki water system since 1988 with others interested in restoration of river systems.

When planning the restoration of river systems a basic knowledge of their ecology is needed. As the river systems are restored for example their ability to hold organic material is changed. This has a significant influence on for example the composition of benthic animals. These macroinvertebrates are reduced in the restoration areas during the process, but recover rapidly at least if the restoration is realized in the beginning of the summer. It takes years from the water moss to spread out on a new bed of rapids. In the studies made in river Iijoki the restoration of rapids did not seem to increase their ability to support 0+ trout. However, the restored rapids seemed to support 1+ or older planted trout clearly better than rapids that had been cleared but not restored. The amount of bullheads and minnows in restored rapids was smaller compared to that of unrestored rapids.

The main principle of restoration in Iijoki area has been to increase the diversity of a cleared river channel both in areal and microhabitat level. The successive river-pool - structure has been intensified, the variety of breadth and depth of the river and the diversity of the river bottom has been increased. Moreover; a lot of attention has been paid on environments needed by the different lifestages of trout and grayling, for example spawning grounds. The restoration has been endeavoured to realize in such a manner that the structure of the new rapids would differ as little as possible from the situation before the clearing work.

The effects of the restoration have been observed in several levels in the river Iijoki. The opinions of the users of the river have been inquired and the state of the fish stock and the benthic fauna has been observed. To measure the effects of the restoration work and to compare the different alternatives of restoration, application of the model of habitat quality has been started.

Keywords

Rivers, dredging, log floating, restoration, monitoring, benthic animals, fishes, method development, Iijoki water system

Other information

Series (key title and no.)

Publications of the Water and Environment
Administration -series A 212

ISBN

951-53-0091-6

ISSN

0786-9592

Pages

84

Language

Finnish

Price

Confidentiality

Public

Distributed by

Painatuskeskus
P.O.Box 516 FIN-00101 Helsinki, Finland

Publisher

National Board of Waters and the Environment
P.O. Box 250, FIN-00101 Helsinki, Finland

SISÄLLYS

	Yrjänä, T.	
1	JOHDANTO	9
1.1	Termejä, periaatteita, määritelmiä	9
1.2	Uittoa varten tehtyjen töiden laajuus	10
1.3	Virtavesien kunnostustilanne koko Suomessa ja Iijoen alueella	11
	KIRJALLISUUS	13
	Kuusela, K.	
2	VIRTAVESIEN KUNNOSTUKSEN EKOLOGISET PERUSTEET	14
2.1	Alkusanat	14
2.2	Johdanto	14
2.3	Taimenen ympäristö	14
2.4	Kunnostuksen suorat vaikutukset	15
2.5	Pohjarakenteen muuttamisen vaikutus	16
2.6	Kunnostuksen ajoittaminen	17
2.7	Kunnostus kalojen kannalta	17
	KIRJALLISUUS	19
	Muotka, T. ja Tikkanen, P.	
3	VIRTAVESIEN ELIÖYHTEISÖT JA NIITÄ SÄÄTELEVÄT TEKIJÄT	21
3.1	Ympäristöhäiriöt ja virtavesiyhteisöjen pysyvyys	21
3.2	Kalapredaatio virtavesien selkärangatonyhteisöjä säätelevänä tekijänä	26
	KIRJALLISUUS	28
	Laasonen, P., Muotka, T., Tikkanen, P., Huhta, A. ja Kuusela, K.	
4	KUNNOSTUKSEN LYHYEN JA PITKÄN AIKAVÄLIN VAIKUTUKSET	29
4.1	Johdanto	29
4.2	Pohjaeläimistön lyhytaikainen seuranta	30
4.2.1	Tutkimusalue	30
4.2.2	Kunnostustapa	30
4.2.3	Menetelmät	30
4.2.4	Tulokset	31
4.2.4.1	Muutokset joen habitaattien rakenteessa	31
4.2.4.2	Pohjaeläimistön palautuminen	31
4.2.4.3	Pohjaeläimistön yhteisövasteet	32
4.3	Kunnostuksen pitkäaikaisvaikutukset	32
4.3.1	Kenttätyöt	33
4.3.2	Tulokset	33
4.4	Pohdintaa	35
4.4.1	Kunnostuksen lyhytaikaiset vaikutukset	35
4.4.2	Kunnostuksen pitkäaikaisvaikutukset	35
4.5	Yhteenveto	36
	KIRJALLISUUS	37
	Yrjänä, T.	
5	KUNNOSTUSTÖIDEN TOTEUTTAMINEN JA TYÖMENETELMÄT	39
5.1	Kunnostuksen periaatteet	39
5.2	Menetelmät	39
5.2.1	Yleistä	39

5.2.2	Koski-suvanto vuorottelun palauttaminen	40
5.2.3	Kuivillaan olevien uomanosien vesittäminen	40
5.2.4	Habitaatin parantaminen peratussa uomassa	40
5.3	Kunnostustyön vaikutus veden laatuun	44
5.4	Virtavesien eliöstön huomioiminen kunnostuksessa	44
5.5	Virtakalojen kutumahdollisuuksien parantaminen	46
5.6	Yhteenveto	47
KIRJALLISUUS		48

Jutila, E., Karttunen, V. ja Niemitalo, V.		
6	TAIMENEN POIKASTEN ISTUTUSKOKEILUT ERI TAVOIN KUNNOSTETUISSA KOSKISSA	50
6.1	Johdanto	50
6.2	Koskikalasto	50
6.3	Taimenen istutuskokeilut eri tavoin kunnostetuissa koskissa	51
6.3.1	Koejärjestelyt	51
6.3.2	Kesänvanhojen taimenten poikasten määrä	51
6.3.3	Yksivuotiaiden ja vanhempien taimenten poikasten määrä	52
6.4	Muiden lajien esiintyminen koskissa	52
6.5	Suosituks	53
KIRJALLISUUS		58

Pekkala, J. ja Pekkala, S.		
7	KUTUSORAIKKOKOKEILUT	59
7.1	Johdanto	59
7.2	Kokeilualue	59
7.3	Kutupaikkojen tarkastus	59
7.3.1	Soran pysyminen levityspaikalla	59
7.3.2	Soran kulkeutuminen	60
7.3.3	Hienon aineksen kertyminen	61
7.4	Keinotekoiset soraikot kutupaikkana kahden kevättulvan jälkeen	61
7.5	Suosituks	62

Seppänen, O.		
8	KYSELY PAIKALLISTEN ASUKKAIDEN, MÖKKILÄISTEN JA VIRKISTYSKALASTAJIEN SUHTAUTUMISESTA KUNNOSTUKSIIN	63
8.1	Kyselyn suoritus	63
8.2	Keskeiset tulokset	63

Huusko, A. ja Korhonen, P.		
9	ELINYPÄRISTÖMALLIN SOVELTUVUUS UITTOVÄYLIEN KUNNOSTUSTEN ARVIOIMISEEN JA KEHITTÄMISEEN	67
9.1	Johdanto	67
9.2	Koskikunnostuksen arvioinnista	68
9.3	Elinympäristömalli	69
9.3.1	Mallin periaate	70
9.3.1.1	Virtaamamallit ja mikrohabitaatin simulointimallit	73
9.3.1.2	Lajien elinympäristövaatimukset	74
9.3.1.3	Mallin soveltaminen muualla ja malliin liittyvä kritiikki	75
9.4	Mallin käyttömahdollisuudet koskikunnostusten arvioinnissa	77
KIRJALLISUUS		84

Timo Yrjänä

Oulun vesi- ja ympäristöpiiri

1 JOHDANTO

Suurinta osaa Suomen virtavesistä on jossain vaiheessa perattu. Perkauksia on tehty mm. peltöjen kuivattamiseksi, tulvahaittojen pienentämiseksi tai vesivoimaloita varten. Varsinkin Pohjois- ja Itä-Suomessa laajimmat jokiperkaukset on tehty uiton helpottamiseksi. Uittoperkaukset ovat kohdistuneet voimakkaimmin pieniin ja keskisuuriin virtavesiin.

Viimeiseksi irtouittoa harjoitettiin Iijoella 1988 ja Kemijoella 1990-luvun alkuvuosina. Edelleen puuta kuljetetaan uittamalla, mutta vain nippuina järvi- ja merialueella. Jokivesiltä puun kuljetus on siirtynyt maanteille ja rautateille.

Uiton harjoittamista on kussakin vesistössä ohjannut uittosääntö. Uiton loppumisen jälkeen täytyy uittosääntö vesistöstä lain mukaan kumota. Kumoamisen yhteydessä vesioikeudet määräävät, mitä töitä uiton jälkien "siivoukseen" kuuluu. 1970-luvun puolivälin jälkeen perkaukset alettiin tulkita "haittaa ja vaaraa" aiheuttaviksi rakenteiksi ja niin ollen kumoamisen yhteydessä korjattaviksi. Siten vesistöissä, joissa uittosääntö on kumottu 1970-luvun puolivälin jälkeen, on perkausten aiheuttamia haittoja yritetty kunnostustoimin vähentää. Kunnostustöiden tekeminen on määrätty velvoitteeksi vesi- ja ympäristöhallitukselle.

Iijoella uiton jälkien entisöinti alkoi vuonna 1988. Koska kyseessä oli laaja ja pitkävaikutteinen työ, johon ei kaikilta osin valmiita menetelmiä ollut, aloitettiin kunnostustyön rinnalla erilaisia tutkimuksia, joiden tarkoituksena oli työn vaikutusten (vaikuttavuuden) seuraaminen ja työmenetelmien kehittäminen. Näissä selvityksissä ovat olleet mukana mm. Oulun vesi- ja ympäristöpiiri, Oulun yliopisto, riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Oulun kalastuspiiri (myöh. Kainuun maaseutuelinkeino-
piiri), metsähallitus, Ijoen kalastusalue ja useat alueen kalastuskunnat.

Osa tutkimusten tuloksista on julkaistu kotimaisissa ja ulkomaisissa julkaisuissa (Huusko ja Yrjänä, Laasonen ym. 1993, Tikkanen ym. 1994, Jutila 1994, Yrjänä 1992, 1994, Yrjänä ja Kuusela 1991, Yrjänä ja Huusko 1992). Useiden selvitysten tulokset on julkaistu ainoastaan opinnäytetöinä tai monisteina (Seppänen 1992, Pekkala 1993). Osa tuloksista on kokonaan julkaisematta. Tätä julkaisua varten tutkimusten tekijät ovat laatineet yhteenvetoja töittensä tuloksista. Kirjoitukset on pyritty laatimaan siten, että ne olisivat virtavesien kunnostustöitä käytännössä tekevien henkilöiden hyödynnettävissä.

Tässä julkaisussa keskitytään pääasiassa peratun joen kunnostamismenetelmien ja niiden vaikutuksia käsittelevien tutkimusten tulosten esittelyyn. Muita uiton jälkien korjailuun liittyviä töitä (uppopuiden nosto, uittopatojen purku, varastoalueiden maisemointi ja siivous, järvien vesipintojen palauttaminen jne) ei tässä tarkastella.

1.2 Termejä, periaatteita, määritelmiä

Uiton helpottamiseksi tehtyjä töitä kutsutaan *kuntoonpanotöiksi*. Jälkeenpäin näkyvimpiä kuntoonpanotöitä ovat olleet koskien ja virtapaikkojen *perkaus*, veden virtausta

ohjaavien *ohjeiden tai penkereiden* (suisteiden) rakentaminen ja veden varastoimiseksi tarvittavien *patojen* tekeminen.

Uiton jälkien korjailua kutsutaan *kunnostamiseksi tai entisöinniksi*. Entisöinnistä puhutaan kun työt tehdään uittosäännön kumoamisen yhteydessä, jolloin ne ovat velvoitteellisia vesi- ja ympäristöhallitukselle.

Entisöinti on sikäli huono sana, ettei perattuja jokia monestakaan syystä pystytä palauttamaan entiselleen eli luonnontilaan. Useinkaan ei tarkasti tiedetä, miltä joki on ennen perkausta näyttänyt. Muuttuneet hydrologiset olot ja maankäyttö ovat osaltaan täydellistä entisöintiä estämässä. Luonnontilainen joki on ollut koko jääkauden jälkeisen ajan jatkuneen prosessin tulos, eikä ihmisen ole mahdollista saada koko jokilaakson maa- ja kiviaineksia samaan järjestykseen kuin ne ennen perkauksia ovat olleet. Entisöinti on kuitenkin sikäli hyvä sana, että se kuvastaa pyrkimystä palauttaa kohde lähemmäs ennen ihmisen toimia vallinnutta tilaa. "Entisöinnin" jälkeen joen omat prosessit jatkavat luonnontilaistamista.

Toinen ryhmä virtavesien parantamishankkeita ovat *kalataloudelliset kunnostukset*. Usein kysymyksessä ovat pääosin samanlaiset työt kuin entisöinnissäkin, mutta eri rahoituskanavat. Niiden kohteena on usein ollut uiton helpottamiseksi tehtyjen töiden huonontama joki niillä vesistöalueilla, missä uittosääntö on kumottu ennenkuin vesioikeus alkoi määrätä perkausten jäljet korjattaviksi siinä yhteydessä. Kalataloudellisen kunnostuksen kohteena voi tietysti olla muustakin syystä kuin perkausten takia huonontunut vesistö.

Perkaukset ovat heikentäneet kalojen ja muiden vesieliöiden elinympäristöä eli *habitaattia*.

1.3 Uittoa varten tehtyjen töiden laajuus

Vuonna 1945 uittoa varten kunnostettua vesiväylää oli Suomessa yhteensä 20 360 km. Kaikkiaan on Suomessa uittokelpoista vesiväylää ollut noin 40 000 km. 1950-luvun alussa uittoväylää oli käytössä 13 000 km, 1960-luvun alussa vielä 10 000 km, mutta saman vuosikymmenen lopussa enää 5 500 km. 1980-luvun alkupuolella yhteisuittoväylää oli käytössä noin 3 000 km ja uittamalla kuljetetun puumäärään osuus teollisuuden raakapuun kuljetuksista oli noin 17 % (Lammasaari 1990). Iijoelta uitto loppui 1988 ja viimeisellä irtouittoväylällä, Kemijoella, puuta uitettiin vielä 1990-luvun alkuvuosina.

Patoja on uittoa varten tehty Suomen jokiin noin 1500–2000 kpl (Lammasaari 1990). Uittoa varten perattujen koskiosuuksien määrä selviää vasta kaikkien uittojokien tultua entisöidyiksi. Ijoen sivu- ja latvavesillä koskia on perattu ainakin 200 km:n matkalta ja patoja tehty noin 140 kpl. Liikuteltujen massojen määrää on vaikea arvioida. Ijoen koskista on arveltu poistetun vähintään 1 milj. m³ kiviä. Tehdyt perkaukset olivat pääosin luvattomia. Esimerkiksi eräältä Ijoen sivujoelta, Loukusanjoelta, uittajalla oli lupa poistaa joesta 30 m³ kiviä ja maata. Todellisuudessa joesta perattiin massoja noin 50 000 m³ (Oulun vesi- ja ympäristöpiiri 1987). Myöhemmin kuntoonpanotyöt on uittosäännön muuttamis- ja kumoamisprosesseissa laillistettu ja Ijoen vesistöalueella töistä aiheutuneista haitoista on ns. puitesopimuksen perusteella myös maksettu

korvaukset maa- ja vesialueiden omistajille.

Uiton käytössä on ollut suuri määrä ranta- ja vesialueita. Varsinkin laajojen puutavaravarastoalueiden (lanssipaikkojen) teko on muuttanut jokimaisemaa. Uitetusta puutavarasta on 1–2 % kadonnut matkalla (Lammassaari 1990). Valtaosa tästä määrästä on painunut vesistöjen pohjaan.

Perkausten vaikutukset eivät rajoittuneet pelkästään koskialueelle; ne muuttivat koko vesistöä. Koskien perkaus heikensi virtavesien perusominaisuuksien kuuluvaa koskisuvanto vuorottelua. Suvannot ja järvet mataloituivat. Jokien kyky kuljettaa ja varastoida hienoja aineksia muuttui.

Uittoa varten pyrittiin koskista muokkaamaan tasapohjaisia kouruja ilman mitään virtausesteitä. Jokien putouskorkeus yritettiin jakaa mahdollisimman tasaisesti koko joelle madaltamalla kynnyspaikkoja. Perkauksissa jokia myös oiottiin ja kavennettiin. Täten huomattava osa arvokalojen poikastuotannolle tärkeitä koskialueita jäi kuivilleen. Iijoella vaelluskalatuotannossa olleiden latva- ja sivuvesien koskiala pienentyi uiton perkauksissa yli 40 %. Jäljelle jääneidenkin koskialueiden laatu arvokalojen lisääntymis- ja poikasalueina heikkeni (Pohjois-Pohjanmaan seutukaavaliitto 1984).

1.4 Virtavesien kunnostustilanne koko Suomessa ja Iijoen alueella

Uittoa varten perattujen jokien kunnostaminen alkoi Suomessa 1970-luvulla Savosta ja Kainuusta. Ylivoimaisesti eniten jokikunnostuksia on tehty Lapissa, kaksi kolmasosaa koko maan kunnostetusta koskialasta. Vuoteen 1991 mennessä oli koko maassa toteutettu noin 90 jokien kunnostushanketta, joilla on parannettu koskia yhteensä noin 469 hehtaarilla ja tehty noin 170 kutualuetta. Kunnostettujen koskien lukumäärä oli tuolloin 878 (Yrjänä ja Huusko 1992).

Edellisessä kappaleessa mainituista 90 toteutetusta jokikunnostuksesta 70 oli uittosäännön kumoamiseen liittyviä. Yhteensä niiden puitteissa oli kunnostettu noin 800 koskea yhteispinta-alaltaan noin 400 ha. Vuonna 1992 näitä entisöintihankkeita oli vireillä noin 30 kpl. Nämä sisälsivät yli 300 koskihehtaarin ja 100 kutupaikan kunnostamisen. Tuolloin laajimmat entisöinnit olivat vireillä Iijoen sivu- ja latvavesillä (Yrjänä ja Huusko 1992).

Uittosäännön kumoamisten lisäksi virtavesiä on kunnostettu kalataloudellisina kunnostuksina. Toteutetut kalataloudelliset kunnostukset ovat olleet yleensä pienialaisia, keskimäärin 1,4 hehtaarin alaa koskevia ja 1–10 koskea sisältäviä töitä. Uittoväylien entisöinti on yleensä koskenut koko vesistöä. Kalataloudelliset kunnostukset ovat uittosäännönkumoamistöitä selvemmin toteutettu kalaston ja kalastuksen ehdoilla. Niihin on usein liittynyt kalaistutuksia ja erilaisia kalastusjärjestelyjä. Koko maassa tällä rahoituksella oli vuoteen 1991 mennessä parannettu kalojen elinympäristöä noin 60:llä koskella, vajaalla 30 koskihehtaarilla. Kalataloudellisia kunnostuksia oli kuitenkin vuonna 1992 suunnitteilla lähes 200 koskihehtaarille. Kalataloudellisia kunnostuksia on tehty eniten Keski-Suomessa ja Mikkelin läänissä (Yrjänä ja Huusko 1992).

Iijoella aloitettiin entisten uittojokien kunnostaminen vuonna 1988. Maastokartoitukset

oli aloitettu jo 15 vuotta aiemmin. Iijoen vesistöalueen entisöitävät joet ovat pääasiassa 2–3 asteen jokia, joiden leveys on 10–100 m, keskivirtaama 0,5–25 m³ ja ylivirtaama 10–500 m³. Kyseisten jokien kokonaiskaltevuus on 0,1–0,5 %. Iijoen pääuoman alaosa on valjastettu sähköntuotantoon, eikä se kuulu entisöintiohjelmaan.

Iijoen vesistöalueella on vuoden 1993 loppuun mennessä saatu entisöityä viisi jokea, kolmella joella työt ovat kesken ja kahdeksalla joella tai muulla osa-alueella aloittamatta. Erillisiä koskikohteita on lokakuuhun 1994 mennessä kunnostettu noin 270 kpl, niiden yhteispinta-ala ennen kunnostusta (mutta perkausten jälkeen) oli noin 170 ha. Kunnostuksen jälkeisestä kokonaisalasta ei ole tarkkaa lukua olemassa, mutta joillakin esimerkkialoilla tehtyjen mittausten perusteella koskialan kasvu Iijoen kunnostuskohteilla on ollut noin 40 %. Tällöin päästään lähes 90 %:iin ennen perkauksia olemassa olleesta koskialasta.

Rahaa Iijoen uittoväylän entisöintihankkeisiin on kaikkiaan (koskien uudelleen rakentaminen, uittolaitteiden poisto, järvien vesipintojen palauttaminen, uppopuiden nosto jne) on vuosina 1988–1994 käytetty noin 9 milj.mk, jäljellä oleviin töihin tarvitaan vielä noin 17 milj.mk.

Iijoen vesistöalueella tehtiin ennen entisöintitöiden aloittamista puitesopimus metsähallituksen, maataloustuottajien keskusliiton ja kalatalouden keskusliiton välillä. Tämän sopimuksen ansiosta vesioikeus on voinut määrätä entisöitäville koskille tehtäväksi tarpeelliset kalojen alkuistutukset, jotka ovat kestäneet 5 vuotta kunkin kohteen valmistumisesta. Laskennallisina istutustiheytenä on käytetty ensimmäisenä kunnostuksen jälkeisenä vuonna 3 000 kpl nollikkaita, 600 kpl yksivuotiaita ja 300 kpl kaksivuotiaita järvitäimenen poikasia koskihehtaaria kohti, 2.–5. vuonna kunnostuksen jälkeen velvoite on koskenut ainoastaan mollavuotiaita. Käytännössä tosin metsähallitus on yleensä korvannut nollavuotiaat yksivuotiailla. Joillakin alueilla on ollut myös harjuksen ja siian istutusvelvoitteita.

KIRJALLISUUS

- Jutila, E., Karttunen, V. and Niemitalo, V. 1994: Erilaisten kunnostusmenetelmien vaikutus taime-
nen poikasmääriin Iijoen sivuvesien koskissa. Käsikirjoitus. Riista- ja kalatalouden
tutkimuslaitos. Helsinki. 24 s.
- Laasonen, P., Muotka, T., Tikkanen, P. and Kuusela, K. 1993: teoksessa Tuomisto, J and Ruuska-
nen, J. (toim.): Proceedings. First Finnish Conference of Environmental Sciences.
Kuopio University Publications C. Natural and Environmental Sciences 14: 151–154.
- Lammassaari, V. 1990: Uitto ja sen vesistövaikutukset. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja –
sarja A 54. 235 s.
- Pekkala, S: 1993: Iijoen sivuvesien uittoväylien entisöinnin yhteydessä vuonna 1991 rakennettujen
keinotekoisten kutupaikkojen tarkistus. Opinnäyte. Evon metsäoppilaitos. 12 s.
- Pohjois-Pohjanmaan seutukaavaliitto 1984: Iijoki selvitys. Kalatalous. Pohjois-Pohjanmaan
seutukaavaliiton julkaisusarja A:71. 140 s.
- Seppänen, O. 1992: Pärjänjoen ja Kouvanjoen kunnostusta ja Pärjänjoen virkistyskalastusalueen
kehittämistä koskeva selvitys. Opinnäyte. Länsi-Pohjan ammatillinen kurssikes-
kus/Kalatalouskoulutus. Simo. 23 s.
- Tikkanen, P. Laasonen, P., Muotka, T. Huhta, A. and Kuusela, K. 1994: Short term recovery of
benthos following disturbance from stream habitat rehabilitation. *Hydrobiologia* 273:
121–130.
- Yrjänä, T. 1992: Virtavesien kalataloudelliset kunnostusmenetelmät ja niiden vaikutusten arviointi.
Teoksessa Sorva, M. ja Savolainen, M. (toim.) *Lisensiaattiseminaarin sitelmät*
lukuvuonna 1990–1991. Oulun yliopisto. Vesitekniikan laboratorio. Sarja A. Julkaisu
52. 35 s.
- Yrjänä, T. 1994: Restoration of running waters within the Iijoki river area – goals, methods, and
test results. Käsikirjoitus. 23 s.
- Yrjänä, T. ja Huusko, A. 1992: Kalojen elinympäristön parantamistyöt Suomen joissa (In Finnish).
Suomen kalastuslehti 99 (6): 26–27.
- Yrjänä, T. ja Kuusela, K. 1991: Restoration of rapids after the cessation of logging in the river
Iijoki, Northern Finland. Tiivistelmä. First International Workshop of Lowland Stream
Restoration. Lund, Sweden.

Kalevi Kuusela

Oulun yliopisto, eläintieteen laitos

2 VIRTAVESIEN KUNNOSTUKSEN EKOLOGISET PERUSTEET

2.1 Alkusanat

Tämä kirjoitus perustuu niihin lähtöajatuksiin, joilla suoritettiin Oulun vesi- ja ympäristöpiirin, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen ja Oulun yliopiston eläintieteen laitoksen kesken tutkimuksia teemasta 'Koskien kalataloudellisten kunnostusten ekologiset perusteet'. Tutkijavoimien erillispalkkaukseen saatiin apurahoitus Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiöltä vuosina 1990–1992. Kenttätyöt tapahtuivat Pudasjärven ja Taivalkosken alueen erällä uittoa varten peratuilla puroilla ja joilla, joilla Oulun vesi- ja ympäristöpiiri edelleenkin jatkaa koskien kunnostamista (katso luku 1, Yrjänä 1994).

2.2 Johdanto

Yleismaailmallisesti tarkasteltuna virtavesien kunnostuksia tehdään monien tarkoitusperien saavuttamiseksi. Yhtäällä tavoite on parantaa veden laatua pistekuormitusta vähentämällä tai estämällä erilaisista maankäyttömuodoista koituvaa hajakuormituksen pääsyä vesistöön. Toisaalla kalateillä pyritään saattamaan patoamisella eristettyjä entisiä koskijaksoja tuotantoon. Kolmas pyrkimys on parantaa kalantuotannolle heikkoja tai uittoa varten perattuja virtapaikkoja niin, että siihen saataisiin palautetuksi lähinnä jonkin lohikalan kanta tai että tämän tuotanto paranisi ns. entiselle tasolle. Tutkimusjoillamme kysymys on lähinnä tästä jälkimmäisestä päämäärästä, sillä niissä istutusten avulla on voitu ylläpitää jonkinlaisia taimenkantoja ja harjuskin on monin paikoin tullut toimeen.

Miksi sitten ryhtyä muuttamaan näitä uomia, joissa esim. taimen joltisesti tulee toimeen? Vaikuttimena voidaan pitää tietoa, että entisaikaan, ennen perkauksia, kalakannat ovat olleet paremmat. Toisaalta entistämiseen syntyy halu – varsinkin jos siihen tarjoutuu resurssit – kun tutustuu joihinkin uittouomiin, joita kutsuisi jopa ränneiksi, ja soveltaa tähän nykytilaan varsin laajaa yleistä tietämystä esim. taimenenpoikasille otollisesta koskiympäristöstä. Myöskin eräät positiiviset tutkimustulokset kunnostetuilta joilta ovat antaneet uskoa työn tekemiseksi (esim. Kännö 1987).

Seuraavassa tarkastelen aluksi taimenen keskeisiä ympäristövaatimuksia, sitten niitä ajatuskuluja, jotka ovat keskeisiä koskikunnostusprojektissamme, ja eräitä alustavia havaintoja kosken kunnostuksen vaikutuksista.

2.3 Taimenen ympäristö

Taimenen ekologisista vaatimuksista on sen koko levinneisyysalueelta sangen lukuisia tutkimuksia. Varsin hyviä yhteenvetoja ovat esittäneet Wesche (1985) ja Hunter (1991). Seuraava kuvaus perustuu pääasiassa niihin.

Taimenen kulloinenkin elämänvaihe asettaa erityisvaatimuksia ympäristölleen. Kutuparin on löydettävä kivikkoisesta, pohjaan iskostuneita lohkaraitakin sisältävästä uomasta, pintavirtaukseltaan luokkaa 0,1–0,75 m/s, riittävästi irtonaista ja karkeahkoa sorapohjaa, johon kutukuoppa on mahdollista kovertaa mätipesän kasaamiseksi. Tämän raekoon on oltava sopivaa nimenomaan hautomisvirtauksen säilymiseksi läpi talven. Kuoriutuvien poikasten on päästävä hitaahkoon virtapaikkaan – usein rannan tuntumaan – missä tarjoutuu riittävästi sopivaa ruokaa. Niiden on löydettävä myös mahdollisuus oman territorion valtaamiseen, ts. visuaaliseen eristäytymiseen kumppaneilta isompien kivien lomassa. Tällä on positiivinen merkitys pedoilta suojautumiseen, mihin lisäksi liittyy yläpuolisen, peittävän suojan tarve (esim. rantakasvillisuuden varjostus, penkan kovertumat, suuret ylislohkareet). Näiden vaatimusten on täyttyttävä usean kasvukesän ajan. Kuitenkin varttuessaan kala voi hakeutua vuolaampiin paikkoihin, mikä lieventää ikäluokkien välistä tilakilpailua, jossa nuorin ikäluokka joutuu kärsimään. Omat edellytyksensä asettaa myös talvi: poikasten on päästävä vetäytymään matalan kosken suppoutuvilta pohjilta syvempiin 'kuoppiin' tahi suvantoihin talvehtimaan. Hyvässä ympäristössä juuri näiden kuoppien ja poukamien sekä matalan kivikon tasapuolinen toistuminen parantaa kalojen selviytymistä myös kuivista kesistä. Äärimmäiset tulvat harvoin aiheuttavat vahinkoa muualla kuin löysillä somerikkopohjilla; vaikka tällaiset olisivatkin erinomaisia kutualustoja, niillä poikaset eivät löydä riittävän kokoisia turvakiviä. Kuitenkin jokiuomissa, joissa on kulkeutuvia sedimenttejä, koskikivikkokin voi näistä kärsiä. Lisäksi kannan säilymiseksi elinvoimaisena ja tammukoitumattomana aikuisten syönnösalueiden tulee olla riittävän laajat.

2.4 Kunnostuksen suorat vaikutukset

Vuosikymmeniä käytössä ollut uittouoma on todennäköisesti saavuttanut vakaan tilan: kivikko on iskostunut, raot ovat enemmän tai vähemmän täyttyneet sedimenteillä ja sammaloituminenkin kivien pinnoilla on paikoin saanut jalansijaa (ks. Yrjänä ym. 1988).

Perkauksen jälkeen muutamiksi vuosiksi runsastunut, vaikkakin yksipuolistunut pohjaeläintuotanto (etenkin mäkärät; ks. Müller 1953) on myös vakiintunut tasolle, joka paikoin saattaa hyvinkin vastata ennen perkausta olevaa tilannetta. Kalojen ravintovara, pohjaeläimistö, ei välttämättä olekaan pullonkaulana koskikalojen toimeentulossa, varsinkaan jos sammaloituminen vähin erin etenee ja sen myötä fauna pääsee monipuolistumaan (ks. Myllylä ym. 1985, Yrjänä ym. 1988).

Konekaivuu on radikaali toimenpide pohjalla. Sen seurauksena pohja-aines löystyy järjestyäkseen ja iskostuakseen tulevien vuosien aikana vähin erien esim. tulvien vaikutuksesta uudelleen. Suoraa vahinkoa koituu etenkin sammalille, joita myllerryksessä irtoaa merkittäviä määriä ja ajautuu koskesta suvantoihin tai kiven pyörähtäessä sammalkalotti joutuu pohjaa vasten. Tämä habitaatin rakenteen muutos johtaa sammalhakuisten eläinlajien elinolosuhteiden heikkenemiseen ja paljasta alustaa suosivien lajien, niinkuin mäkäräntoukat, elintilan paranemiseen. Samalla päällyslevästäön kasvutila laajenee, mikä osaltaan johtaakin tämän eliöryhmän kukoistukseen. Toisin sanoen tilanne on sama kuin perkauksessa oli taannoin tapahtunut.

Merkittävä lyhyaikainen haitta syntyy veden samentumisesta ja sedimenttien ajautumisesta alavirtaan varsinkin niillä koskilla, joissa joudutaan kaivamaan tiivistä

moreenia tai hiesikoita. Työalueelta kalat karkottuvat paitsi pelkän häiriön vuoksi, myös samentuman seurauksena, mutta Timo Yrjänän (suull. ilm.) kenttähavainnot lukuisilta joilta ilmentävät, että karkottumisen määrä ja etäisyys näyttäisi olevan kääntäen verrannollinen uoman laveuteen ja vesimäärään. Kivien liikuttelu sinänsä irrottaa valtavia määriä pohjaeläimiä vesiajolle, mistä osa aiheutuu samentuman aikaansaamasta ns. katastrofaalisesta ajautumisesta (Rosenberg & Wiens 1978). Pohjayhteisön yksilömäärän alentuma on huomattava, mutta palautuminen alkukesällä suoritettussa kunnostuksessa on kuitenkin yllättävän nopeaa: n. 10 päivässä (katso luku 4, Laasonen ym.). Silmämääräisesti tarkastellen samentuman ja ajeen laskeutuminen tapahtuu joesta ja kunnostuksen alapuolisen suvannon etäisyydestä riippuen jo muutaman sadankin metrin matkalla, mutta eräin paikoin vasta 5–7 kilometrin päässä (Yrjänä 1992). Analyysillä on osoitettu, että 500 metrin päässä työpaikalta veden eräät parametrit ovat huomattavasti korkeammat kuin yläpuolisella vertailualueella (Pekkala 1993): joesta riippuen väriluku on n. 2–10ertainen, kiintoainepitoisuus n. 3–7ertainen, ja raudan pitoisuus n. 1,5–4ertainen. Näiden täsmällisestä vaikutuksesta eliöyhteisöihin ei ole tietoa. Kivien pintojen silttiytyminen on väistämätöntä, mutta sen epäedulliset vaikutukset pohjaeläimille lienevät lyhytaikaisia niinkuin yhteisön palautumisesta voitane päätellä.

2.5 Pohjarakenteen muuttamisen vaikutus

Koskikunnostuksen eräs perustavoitteita on monipuolistaa pohjan topografista rakennetta, millä tähdätään myös alueellisen virtausvaihtelun lisäämiseen (katso luku 3, Muotka & Tikkanen). Aikaansaatu heterogeenisyys on kaikin puolin suotuisaa koskipaikan eliöstölle, ja odotettavissa on pohjaeläinyhteisön lajiston ja rakenteen monipuolistuminen (Dobson & Hildrew 1992). Sillä parannettane koskikalojen ravinnonvalinnan mahdollisuutta, reviirien löytymistä ja suojautumista.

Osaltaan yhteisön hyötyminen on seurausta kosken ns. pidättämiskyvyn lisääntymisestä (Speaker ym. 1988): orgaanisen partikkelimaisen aineksen (ensivaiheessa lehtien) kertymiselle pohjalle vaihtelavanrakenteinen koski luo hyvät edellytykset vuosiksi eteenpäin. Tämä maalta peräisin oleva lehtimateriaali on elinehto detritusta pilkkoville pohjaeläinlajeille (sisältäen etenkin koskikorentoja ja vesiperhoja), joilla ikääntyneissä koskissa on merkittävä osuus (ks. esim. Yrjänä ym. 1988). Myöhemmin tämä pilkkoutunut kasviaines ylläpitää suodattajien kiltaa (etenkin mäkärien, eräiden surviaissääskiryhmien ja joidenkin vesiperhoheimojen toukat) (Cummins 1974, Vannote ym. 1980, Cummins ym. 1984). Ydinkysymys kummallekin killalle onkin: kuinka hyvin pohja kerää ja pidättää lehtiä (mm. Prochazka ym. 1991). Kokeellisesti on osoitettu (Richardson 1991), että huonosti pidättävässä pohjassa näille koituu ravintopula, joka ennen pitkää johtaa lajien ja kiltojen väliseen kilpailuun. Tämän pidättämiskyvyn kehittyminen pitkällä aikajaksolla kunnostuksen jälkeen (10 vuoteen asti) on eräs työryhmämme tutkimustavoite. Samalla seurataan pohjan sulkeutuneisuuden, so. sammalpeittävyyden, kehitystä ja pohjaeläinyhteisön rakennetta alku- ja loppukesällä tapahtuvien näytteenotoin. Oletuksena on, että kunnostus nimenomaan parantaisi pidättymistä. Mahdollista on myös, että kosken trofisuudenkin luonne vaihtuu: aiemmin huonosti pidättävästä, autotrofian hallitsemasta koskesta tulee heterotrofinen, minkä pitäisi heijastua eläimistössä päällyyslevästä laiduntavien taantumisenä. Tutkimuksen lähtökohta on siten vertailu luontaisen, uittoon peratun ja kunnostettujen (ikäsarjana) koskien kesken.

2.6 Kunnostuksen ajoittaminen

Kunnostuksen vuodenajan merkitys pohjaeläimistön tuhoutumiselle ja palautumiselle on ilmeinen, koska myös pohjaeläimistön hyönteiset kasvussaan ja kuoriutumisessaan – samoin kuin niiden ravintoresurssit – ovat vahvasti vuodenaikaisia (pääinvastoin kuin esim. nilviäiset, juotikkaat, harvasukamadot ja vesisiira, jotka elävät koko ikänsä vedessä).

Tämän vuosirytmien hallitseva piirre (ks. Hynes 1972) on voimakas toukkien kasvuvaihe keväällä ja alkukesästä niin, että yleensä juhannukseen mennessä pääjoukko lajeista on siivillä. Heinäkuussa on lämpimyyden vuoksi yleinen taantuma – eräiden lajien munat jäävät jopa odottelemaan viileämpiä hetkiä kasvunsa aloittamiseksi. Elokuussa alkaa näkyä syksylajeja lennossa ja niitä riittää jäidentuloon asti. Syksyllä karisseiden lehtien kimpussa on koko joukko päivänkorentojen, koskikorentojen, vesiperhosten ja surviaissääskien toukkia. Lukuisat lajit talvehtivat munina tai ensimmäisen asteen toukkina odottaen kevään lämpiäviä vesiä. Tällä vuosirytmillä on merkityksensä myös pohjaeläinten näytteenoton ajoittamiseen alkukesään ja loppukesään/alkusyksyyn.

Kunnostusta voidaan pitää häiriönä, johon voidaan soveltaa ns. disturbanssi-teoriaa: paitsi ympäristöhäiriön toistuvuus, voimakkuus ja ennustettavuus, myös sen ajoittuminen voi olla tärkeä tekijä, kun tarkastellaan häiriön ympäristövasteita. Tähän Agubov (1982) ja Robinson & Minshall (1986) ovat tutkimuksissaan saaneet viitteitä todettuaan, että yhteisön monipuolisuus on riippuvainen häiriön vuodenaikaisesta ajoittumisesta. Todennäköisesti kysymys on itse lajien ja niiden kehitysvaiheiden erilaisista kyvyistä sietää häiriötä. Alustavasti kokemus alkukesällä tapahtuvasta kunnostuksesta on ollut hyvä, nimenomaan yhteisön nopean palautumisen ansiosta (katso luku 4, Laasonen ym.).

2.7 Kunnostus kalojen kannalta

Koskikunnostus ja kalat –teema on alun alkaen muovannut projektimme tavoitteita – ollen itse kunnostuksenkin lähtökohtana. Pyrimme selittämään kalojen palautumista ja menestymistä kunnostetuissa koskissa paitsi tavanomaisin sähkökalastuksin (katso luku 6, Jutila) myös niiden ravinnonkäytön ja mikrohäbitaatin valinnan kautta. Toisin sanoen haluamme vastata kysymykseen, tarjoaako uudistettu ympäristö enemmän ravintoa ja tilaa kaloille, etenkin taimenelle, jonka viihtyminen uittoon peratuissa uomissa uskotaan olleen luonnontilaista heikompaa.

Ravinnon valintaa lähestytään perinteisellä tavalla vertaamalla syötyä ja tarjolla olevaa ravintoa ennen/jälkeen –seurantana yhdessä kunnostuskohteessa ja vertailukoskella. Kalojen palautumista ja menestystä selvitetään myös mikrohäbitaatin valinnan kautta vastattavan kysymyksen ollessa, tarjoaako uudistettu ympäristö paremmin tilaa kuin käsittelemätön koski. Vastauksen saaneimme kuvaamalla ensin kalojen todellisia olinpaikkoja useilla parametreilla (syvyys, virrannopeus kahdella tasolla, raekoko, heterogeenisyys, ns. suojan määrä, kasvillisuuden määrä, kalan sijoittuminen vertikaaliprofiilissa ja lähimmän turvakiven suhteen) ja sitten satunnaispaikkoja samoilla menetelmillä. Työ on tehty ennen ja jälkeen kunnostuksen, ja vertailuaineistona

käytetään tunnettujen taimenhabitaattien tuloksia Kuusamosta. Myös erilaiset vedenkorkeuden tilanteet ovat mukana, sillä mikrohabitaatin luonne ja käytettävyys muuttuvat sen myötä.

Jo muutamat aiemmat selvitykset (ks. Jokikokko 1987, Kännö 1987, Yrjänä ym. 1988) ovat osoittaneet kunnostuksen voivan kohottaa taimenten osuutta ja biomassaa koskella. Suorastaan ihanteellisesti odotukset täyttyivät aikanaan Kemijokeen laskevalla Kuohunkijoella (ks. Kännö 1987). Siellä ennen kunnostusta elänyt taimenen aarikohtainen biomassa oli 56 g, mistä se aleni viidennekseen kunnostuksen jälkeiseksi kesäksi, nousi tasolle 74 g toisena kesänä ja tasolle 167 g kolmantena kesänä. Muuallakin on havaittu, että taimenen osuuden noustessa esim. mateen osuus alkaa vähetä – silti tämä ja kivismppu voivat jäädä vallitseviksi lajeiksi, mutta kunnostustoimista hyötyvät yleensä kaikki koskissa esiintyvät kalalajit, myöskin harjus (Kännö 1987). Varhemmat havainnot taimenen kotiutumisesta ovat johtaneet päätelmään (ks. Yrjänä ym. 1988), että todennäköisesti vain useampivuotisilla istutuksilla (enemmän kuin viisi vuotta) se saattaa saada jalansijan luontaiselle lisääntymiselle. Epävarmuuteen on jossain määrin aihetta, sillä taimen ei välttämättä hyväksy kutuunsa näitä uudispohjia ainakaan tuoreeltaan (ks. Järvisalo ym. 1984). Kysymyksessä on jokin selittämätön kalan vaatimus ympäristöltään, minkä ratkaiseminen antaa lisähaastetta tutkimukselle.

KIRJALLISUUS

- Abugov, R. 1982: Species diversity and phasing of disturbance. *Ecology* 63 (2): 289–293.
- Cummins, K.W. 1974: Structure and function of stream ecosystems. *BioScience* 24:631–641.
- Cummins, K.W., Minshall, G.W., Sedell, J.R., Cushing, C.E. & Petersen, R.C. 1984: Stream ecosystem theory. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22: 1817–1827.
- Dobson, M. & Hildrew, A. 1992: A test of resource limitation among shredding detritivores in low order streams in southern England. *J. Anim. Ecol.* 61: 69–77.
- Hunter, C.J. 1991: Better trout habitat. Island Press, Washington D.C. 318 p.
- Hynes, H.B.N. 1972: The ecology of running waters. Liverpool Univ. Press, Liverpool. 555 p.
- Jokikokko, E. 1987: Taimenmäärät Suomussalmen Piispa- ja Mustajoen kunnostetuissa koskissa vuosina 1978–1985. RKTL:n kalantutkimuosaston Monistettuja julkaisuja 71: 133–166.
- Järvisalo, O., Heikkilä, T. ja Kärkkäinen, P. 1984: Järvitaimenen kutu ympäristö kunnostetussa Äyskoskessa. *Vesihallituksen monisteita* 255. 18 s.
- Kännö, S. 1987: Kalakannan kehitys Rovaniemen maalaiskunnan Kuohunkijoen koskien kunnostuksen jälkeen. RKTL Kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 71: 97–132.
- Myllylä, M., Torssonen, M., Pulliainen, E. & Kuusela, K. 1985: Uittoperkauksien ja koskien entisöinnin vaikutuksista kalastoon. *Vesihallituksen monistesarja* 342: 21–30.
- Müller, K. 1953: Produktionsbiologische Untersuchungen in nordschwedischen Fließgewässern. Teil 1. *Rep.Inst. Freshwat. Res. Drottningholm* 34:90–121.
- Pekkala, J. 1993: Iijoen sivuvesien uittoväylien entisöinti vuonna 1992. Tutkielma, Kurun normaali-metsäoppilaitos, 19 s. + 3 liitettä.
- Prochazka, K., Stewart, B.A. & Davies, B.R. 1991: Leaf litter retention and its implications for shredder distribution in two head-water streams. *Arch. Hydrobiol.* 120: 315–325.
- Richardson, J.S. 1991: Seasonal food limitation of detritivores in a montane stream: an experimental test. *Ecology* 72:873–887.
- Robinson, C.T. & Minshall, G.W. 1986: Effects of disturbance frequency on stream benthic community structure in relation to canopy cover and season. *J. North Amer. Benthol. Soc.* 5: 237–248.
- Rosenberg, D.M. & Wiens, A.P. 1978: Effects of sediment addition on macrobenthic invertebrates in a Northern Canadian river. *Water Res.* 12: 753–763.
- Speaker, R.W., Luchessa, K.J., Franklin, J.F. & Gregory, S.V. 1988: The use of plastic strips to measure leaf retention by riparian vegetation in a coastal Oregon stream. *Amer. Midl.*

Natutalist 120: 22–31.

Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. & Cushing, C.E. 1980: The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130–137.

Wesche, T.A. 1985: Stream channel modifications and reclamation structures to enhance fish habitat, teoksessa: Gore J.A. (ed.), *The restoration of rivers and streams. Theories and experience*, pp. 103–163. Butterworth Publishers, Stoneham, MA.

Yrjänä, T. 1992: Uittoväylien entisöintiin liittyvä koskien kunnostus Iijoen sivuvesillä vuonna 1991. Raportti, Oulun vesi- ja ympäristöpiiri, 38. s.

Yrjänä, T., Myllylä, M., Torssonen, M., Luotonen, H., Kuusela, K. & Pulliainen, E. 1988: Uittoperrattujen koskien kunnostaminen – vaikutukset kalastoon ja pohjaeläimistöön. Tiedotus nro 2, Oulun kalastuspiirin kalastustoimisto, 78 s. + 8 liitettä.

Timo Muotka

Jyväskylän yliopisto, bio- ja ympäristötieteiden laitos

Pertti Tikkanen

Oulun yliopisto, Oulangan biologinen asema

3 VIRTAVESIEN ELIÖYHTEISÖT JA NIITÄ SÄÄTELEVÄT TEKIJÄT

Virtaavia vesiä on perinteisesti pidetty olosuhteiltaan äärevänä elinympäristönä, jossa menestyvät vain voimakkaita ja ennustamattomia ympäristömuutoksia sietävät eliölajit. Pitkään uskottiin, että biologiset vuorovaikutukset, kuten lajien välinen kilpailu ja saalistus eivät tällaisessa ympäristössä juurikaan vaikuta eliöyhteisöjen rakenteeseen ja toimintaan. Viimeksi kuluneen vuosikymmenen aikana virtavesiekologia on kuitenkin kokenut voimakkaan murroksen, joka on näkynyt muun muassa tutkimusmenetelmien muutoksena: puhtaasti korrelatiivisten tutkimusten rinnalle on yhä voimakkaammin noussut erilaisia kokeellisia menetelmiä hyödyntävä tutkimussuuntaus. Edelleen kuitenkin useimmat tutkijat pitävät virtaamavaihteluiden aiheuttamia ympäristöhäiriöitä tärkeimpänä virtavesiyhteisöjen rakennetta säätelevänä tekijänä. Kilpailu ja predaatio voivat kyllä ajoittain olla tärkeitä, mutta niiden kokonaismerkitys on yhä kiistanalainen. Ehkä merkittävin edistysaskel virtavesien tutkimuksessa aivan viime vuosina on ollut mittakaavan merkityksen oivaltaminen. Ekologiset ilmiöt yleensäkin ovat ajallisesta ja paikallisesta mittakaavasta riippuvia (mm. Wiens 1989), ja erityisen selvää tämä on laikuttaisissa ja ajallisesti vaihtelevissa elinympäristöissä, joihin virtaavat vedet epäilemättä kuuluvat.

3.1 Ympäristöhäiriöt ja virtavesiyhteisöjen pysyvyys

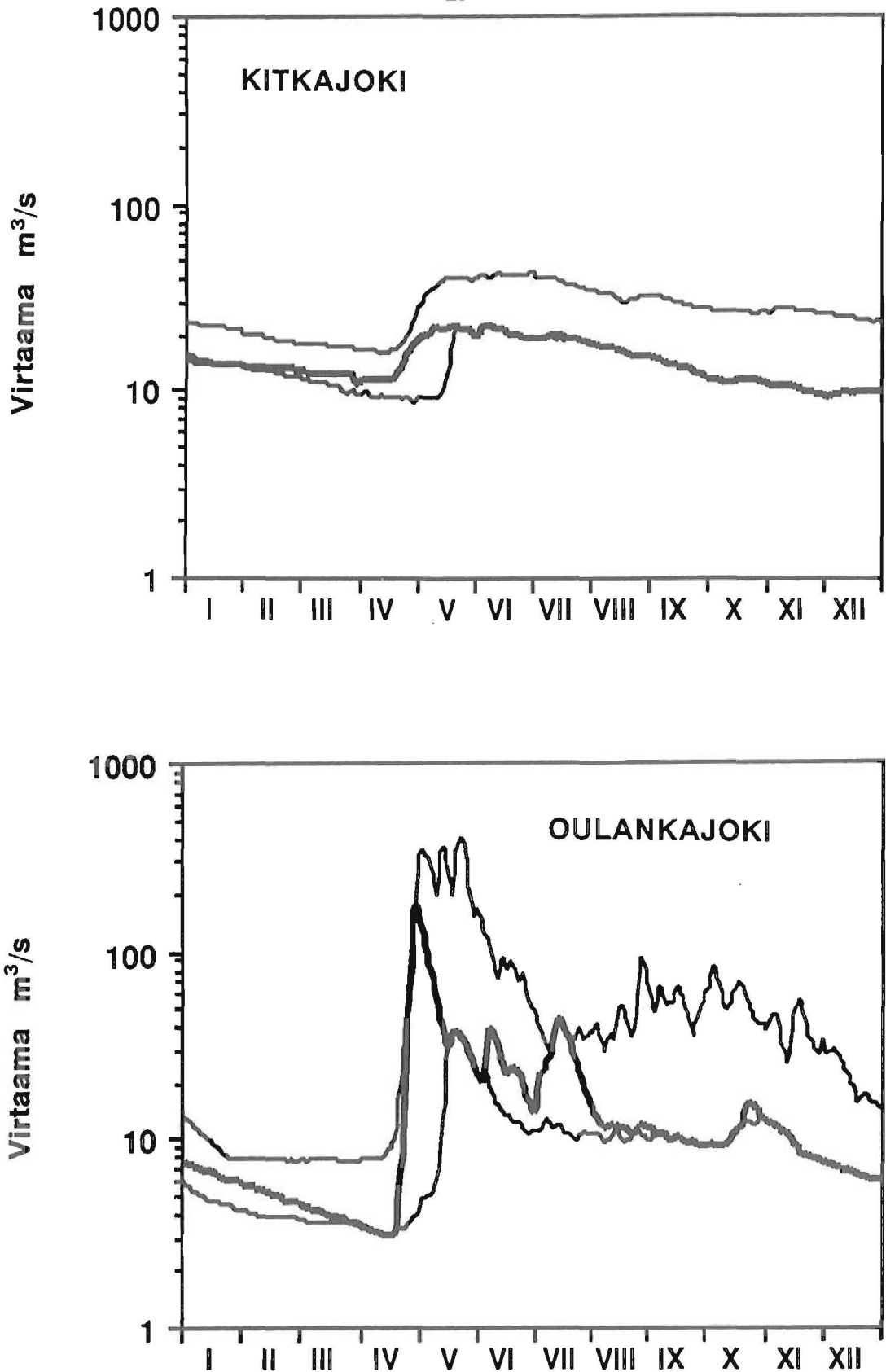
Virtavesieliöt ovat yleisesti sopeutuneet välttämään tai jopa hyödyntämään veden virtauksen suoraa vaikutusta. Korkeatkaan virtaamat eivät helposti irroita kasveja tai paikalleen kiinnittyneitä eläimiä alustaltaan, mutta sen sijaan ne voivat liikutella pohjakiviä ja siten ulkoisena häiriötekijänä vaikuttaa eliöyhteisöjen rakenteeseen. Luontaisten häiriöiden vaikutus yhteisön lajistolliseen monimuotoisuuteen on tavallisesti positiivinen: häiriöiden puuttuessa kilpailullisesti vahvimmat lajit vähitellen syrjäyttävät heikommat kilpailijat, ja tuloksena on harvalajinen eliöyhteisö. Toisessa ääripäässä ovat ympäristöt, joissa häiriöt toistuvat usein ja voimakkaina. Vain harvat lajit ovat tuottaneet sopeutumia (esim. pieni koko, tehokas lisääntyminen ja vapautuvien laikkujen kolonisaatio), jotka turvaavat elinmahdollisuudet näissä olosuhteissa. Eliöyhteisö on vastaavasti yksipuolinen ja sen biomassa yleensä hyvin alhainen (Connell 1978, Grime 1979).

Erityisen vakaissa olosuhteissa voi virtavesissäkin muodostua lajiköyhiä yhteisöjä, joiden biomassa on poikkeuksellisen korkea. Tällaisia ympäristöjä luonnehtivat vähäiset virtaamavaihtelut ja vakaa, isoista lohkarista muodostunut alusta. Järvien luusuat ovat hyvä esimerkki virtavesiympäristöstä, jossa olosuhteiden muutokset ovat vähäisiä ja ennustettavia. Luusuoiden eliöyhteisöjä hallitsevatkin muutamat harvat lajit, jotka valtaavat kaiken elintilan. Esimerkiksi luusuoiden vesisammalyhteisöt ovat usein näkinsammallajien (*Fontinalis*) muodostamia yhden tai kahden lajin kasvustoja.

Kaikkein vakaimmissa paikoissa näkinsammalkasvustot voivat olla jopa useiden metrien mittaisia, jolloin muille sammalille ei juurikaan jää kasvualustaa (Muotka & Virtanen 1994; ks. myös kuva 2). Suuremmissa jokisysteemeissä vakaiden elinympäristöjen esiintyminen on suhteessa joen valuma-alueen järvisyyteen, koska järvioltaat tasoittavat alapuolisen joen virtaamavaihteluja (kuva 1). Eliöiden kannalta pelkkä virtaaman vaihtelu saattaa kuitenkin olla harhaanjohtava häiriön mittari. Samankin joen eri kosket voivat poiketa toisistaan häiriöalttiutensa suhteen, mikäli niiden pohjamateriaali on erilainen. Eliöiden kannalta pohjakivien liikkumisherkkyys lieneekin todellisempi häiriötekijä kuin vesipatsaan virtaamavaihtelu sinänsä.

Jotta edellä kuvattu tarkastelu olisi todenmukainen, on siihen ehdottomasti lisättävä vielä yksi tekijä: mittakaava. Vain harvat, ehkä kerran 50 tai sadassa vuodessa toistuvat tuhoisat häiriöt – jossain päin maailmaa tulivuoren purkaukset tai massiiviset maansiirtymät, meillä poikkeuksellisen rajut pitkien sadekausien aiheuttamat tulvat – vaikuttavat kokonaisuun jokisysteemeihin, jopa jonkin tietyn maantieteellisen alueen kaikkiin virtavesistöihin. Useimmat häiriöt toistuvat joitakin kertoja vuodessa ja muokkaavat kosken pohjaa vain pienellä, muutamien neliömetrien alueella. Yhteisön palautuminen tällaisista häiriöistä ei välttämättä kestä kovin montaa viikkoa, ehkä vain muutaman päivän. Ei olekaan kovin yllättävää, että alunperin vuorovesirannikkojen yhteisöjä varten kehitellyt ns. laikkudynamiikkamallit ovat saavuttaneet suurta suosiota myös virtavesiekologiiden keskuudessa. Näiden mallien mukaan kilpailu yksittäisessä laikussa saattaa olla ankaraa ja edetä jopa heikomman kilpailijan poissulkemiseen saakka. Koska kuitenkin koko elinympäristö koostuu enemmän tai vähemmän erillisistä laikuista, löytää heikompi kilpailija aina uusia, vasta häiriön jäljiltä vapautuneita laikkuja, joita dominoiva kilpailijalaji ei vielä ole ehtinyt asuttaa. Kuvaan kuuluu, että kilpailukyvyyn ja kolonisaatiotehokkuuden välillä on tavallisesti negatiivinen riippuvuus, eli heikoinmat kilpailijat ovat tehokkaimpia kolonisoijia ja päinvastoin. Virtavesissä esimerkiksi suodattajahyönteisten välillä esiintyy tällainen suhde: **Hydropsyche**-vesiperhoset syrjäyttävät mäkärän toukat sellaisilta pohjakiviltä, jotka ovat säilyneet vakaina jo useiden viikkojen ajan, mutta kun kiveä kokeellisesti häiritään, ovat juuri mäkärät näin vapautuneen tilan ensimmäisiä kolonisoijia (Hemphill & Cooper 1983).

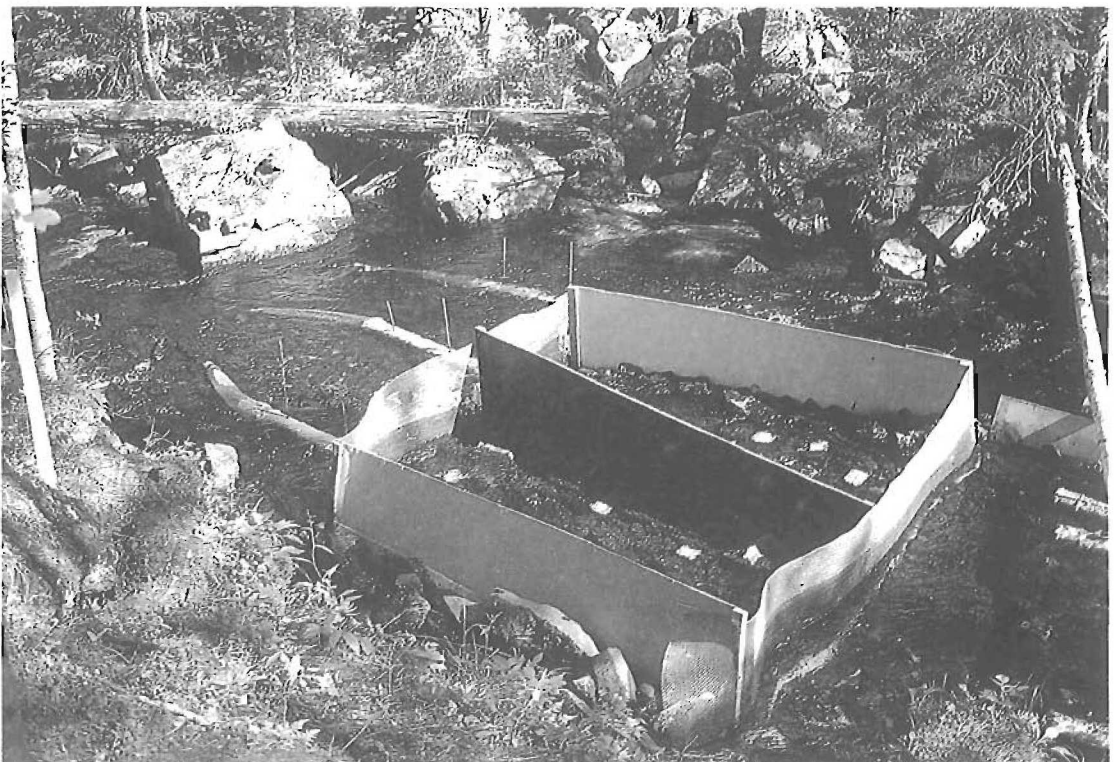
Laikkudynamiikkamallit perustuvat tilakilpailuun, ja ne pätevätkin hyvin sellaisissa virtavesiyhteisöissä, jotka muodostuvat paikallaan pysyttelevistä lajeista, kuten juuri suodattajahyönteiset tai vaikkapa vesisammalet tai pohjalevät. Suurin osa virtavesien eliöstöstä ei kuitenkaan missään elinkiertoonsa vaiheessa kiinnity alustaan, ja mahdollisen kilpailun kohteena on paljon monimuotoisempi resurssi kuin pelkkä tila. Vahvan liikkumiskykynsä ansiosta useimmat virtavesien selkärangattomista eivät ilmeisesti ole kovinkaan alttiita alustan liikkumisen aiheuttamalle häiriölle. Yleinen havainto onkin, että virtavesiyhteisöjen resistenssi ("vastustuskyky") häiriöiden suhteen on alhainen, mutta resilienssi ("palautumiskyky") vastaavasti hyvin suuri. Tämä tarkoittaa sitä, että emuustamaton, voimakas häiriö, kuten keskikesän rankkasateiden aiheuttama virtaaman äkillinen kasvu, aiheuttaa kyllä yksilötiheyksien jyrkän laskun, mutta palautuminen häiriötä edeltävään tilaan kestää yleensä vain muutamia päiviä tai korkeintaan viikkoja.



Kuva 1. Pitkäaikaiset virtaamavaihtelut saattavat olla hyvin erilaisia jopa samassa jokisysteemissä riippuen uoman valuma-alueen järvisyydestä. Esimerkkinä Koutajoen vesistöön kuuluvat Kitkajoki (iso järviolallas yläjuoksulla, vähän virtaamavaihteluja) ja Oulankajoki (vähän järviä, voimakkaat virtaamavaihtelut). Kuvassa on esitetty päivittäiset minimi ja maksimiarvot 22 (Kitkajoki) ja 30 (Oulankajoki) vuoden jaksolta (ohuet käyrät) sekä vuoden 1991 päivittäiset arvot (paksu käyrä)



Kuva 2. Vakaissa koski-
paikoissa *Fontinalis*-näkin-
sammalet voivat muodos-
taa koskikiville yli metrin
mittaisia kasvustoja.
(Kuva: R. Virtanen)



Kuva 3. Kalapredaation vaikutuksia virtavesien pohjaeläinyhteisöihin tutkitaan usein erilaisilla häkkikoejärjestelyillä, joissa kalojen tiheyksiä manipuloidaan suljetuilla koe-aloilla.

Suuren liikkuvuuden omaavat virtavesien selkärangattomat palaavat siis takaisin entiseen elinympäristöönsä heti välittömän häiriövaikutuksen laimennuttua, mutta paljon kiistelyä on aiheuttanut kysymys, mihin eläimet oikeastaan pakenevat häiriön alta. Aiemmin on oletettu, että ne yksinkertaisesti siirtyvät ns. interstitiaaliseen vyöhykkeeseen eli syvälle kivien koloihin pohjan "sisään", josta ne sitten palaisivat päivänvaloon, kun vaara on ohi. Tätä hypoteesia ei ole kuitenkaan kyetty osoittamaan todeksi, ja Townsend (1989) on ehdottanut selitykseksi toisenlaista mekanismia. Hänen mukaansa kosken pohjassa on pienympäristöjä, joissa ympäristöolot säilyvät aina samanlaisina, olipa virtaama vesipatsaassa kuinka korkea tahansa. Näistä pienympäristöistä Townsend käyttää nimitystä hydrauliset refuugiot. Tämä hypoteesi kieltämättä selittäisi hyvin virtavesiyhteisöjen nopean palautumiskyvyn, koska entisten elinpaikkojen uudelleen asuttaminen voisi tapahtua heti välittömän häiriövaikutuksen laimennuttua. Tällöin ne eliöt, jotka pysyttelevät suojapaikoissa häiriön aikana, saavat tukevan jalansijan heti häiriön jälkeen muodostuvassa yhteisössä. Tällaisia yhteisöjä Townsend kutsuu "reliktikontrolloiduiksi". Townsend menee ehdotuksissaan vieläkin pidemmälle: myös virtavesiyhteisöjen pysyvyys on hänen mukaansa suhteessa hydraulisten refuugioiden määrään. Yhteisö on vakaa ja sen lajikoostumus vuodesta toiseen lähes muuttumaton sellaisessa koskessa, jossa refuugioita on runsaasti tarjolla, riippumatta siitä, kuinka paljon joen virtaama vaihtelee. Vastaavasti sinänsä vähäisetkin virtaamavaihtelut tekevät koskesta häiriöalttiin, jos turvapaikkoja ei ole riittävästi saatavilla. Tällaisen koskiympäristön eliöyhteisö on epävakaa, ja sen lajikoostumus ja lajien runsaussuhteet vaihtelevat rajusti vuodesta toiseen. Kilpailulla tai muilla biottisilla tekijöillä ei ole sanan sijaa näiden yhteisöjen muotoutumisessa. Nämä Townsendin esittämät hypoteesit ovat kieltämättä kiehtovia ja, vaikka ovatkin toistaiseksi lähes täysin testaamattomia, tarjoavat mielenkiintoisia näkymiä virtavesiekologian kehityssuuntiin lähitulevaisuudessa.

Luontaiset häiriötekijät toistuvat yleensä sangen ennustettavasti samaan vuodenaikaan, jolloin luonnonvalinta on voinut tuottaa erilaisia ratkaisuja niiden vaikutusten välttämiseksi. Esimerkiksi useat pohjoisten virtavesien eliöt ovat huhti–toukokuussa ankarimpien kevättulvien aikaan munavaiheessa ja toukat kuoriutuvat vasta tulvien laskettua. Vaikka osa häiriöistä esiintyykin ennustamattomasti, kuuluvat kaikki luontaiset häiriöt kuitenkin eliöiden kokemuspiiriin evolutiivisessa mielessä. Tällaiset häiriöt saattavat hetkellisesti muuttaa eliöyhteisöjen rakennetta voimakkaastikin, mutta tavallisesti kukin elinympäristö "valikoi" alueellisesta lajistosta ne lajit, jotka edustavat kyseiseen ympäristöön parhaiten soveltuvaa elämänmuotoa (mm. Hildrew & Townsend 1987). Ihmistoiminnan aiheuttamat häiriöt ovat tässä suhteessa tyystin erilaisia. Ne ovat yleensä eliöiden kannalta täysin ennustamattomia, uudenlaisia häiriötekijöitä, joihin soveltuvia elinkierto- ym. sopeutumia niillä ei välttämättä ole. Siten ihmisen aiheuttamat häiriöt ovat useimmiten eliöyhteisöihin kohdistuvilta vaikutuksiltaan täysin ennalta arvaamattomia. Koskien perkaaminen edustaa tyypillisesti juuri tämänkaltaista ns. antropogeenistä häiriötä. Toisaalta myös entisöintitoimenpiteet saattavat ainakin hetkellisesti kohdistaa virtavesien eliöyhteisöihin häiriövaikutuksen, josta palautuminen kohti toivottua tulosta, luonnontilaista koskieliöstöä, voi kestää jopa vuosikymmenen verran (Laasonen et al. 1993, Tikkanen et al. 1994a). Tällä hetkellä ei vielä ole olemassa riittävästi tutkimustietoa, jotta virtavesiekosysteemin vasteita ihmishäiriöihin voitaisiin ennustaa edes kohtuullisella varmuudella. Kuitenkin juuri ihmisvaikutusten ennustaminen ja jo muutettujen systeemien luonnontilan palauttaminen ovat kaiken ekologisen tutkimuksen keskeisimmät haasteet lähivuosikymmeninä.

3.2 Kalapredaatio virtavesien selkärangatonyhteisöjä säätelevänä tekijänä

Virtavesien petofaunaan kuuluu useita eri tavalla saalistavia selkärangattomia eläimiä (mm. lattanoita, juotikkaita, koskikorentoja ja vesiperhosia) sekä lintuja, nisäkkäitä ja tietysti kaloja. Petoryhmiä on siis paljon, ja ravintoverkkojen rakennetta monimutkaisuutta lisäksi se, että osa alemman asteen selkärangattomista pedoista on suuren kokonsa vuoksi huippupetojen suosimia saaliskohteita. Kalojen saalistuksen suoria ja epäsuoria vaikutuksia virtavesien eliöyhteisöihin on viime aikoina selvitetty useissa kokeellisissa tutkimuksissa eri puolilla maailmaa. Tulokset kokeista, joissa on manipuloitu kalatiheyksiä erilaisten häkkirakennelmien avulla (kuva 3), ovat olleet hyvin ristiriitaisia, eikä konsensusta tutkijoiden välillä kalapredaation merkityksestä virtavesien ravintoketjuissa olekaan näköpiirissä. Toisaalta tiedetään, että kaloja välttääkseen monet selkärangattomat keskittävät omaa ruokailuaan pimeään vuorokaudenaikaan, jolloin näköaistinsa varassa saalistavien kalojen saalistustehokkuus on heikoimmillaan (mm. Allan 1984). Jo pelkkä kalan haju riittää varoitukseksi vaarasta erälle päivänkorentotoukille (Tikkanen et al. 1994b). Toukka voi joutua maksamaan kalliisti tällaisesta piilottelevasta elämäntyylistä: mitä enemmän eläin käyttää aikaansa piilotteluun ja varuillaanoloon, sitä vähemmän se ehtii itse ruokailemaan. Onkin todettu, että saalistusriskin alla elävä koskikorentotoukka kasvaa hitaammin ja päättyy alhaisempaan aikuispainoon ja hedelmällisyyteen kuin sen pedottomassa ympäristössä elävä lajikumppani (Feltmate & Williams 1991). Jos siis kalat muuttavat näin perusteellisesti saaliiden käyttäytymistä ja jopa lisääntymismenestystä, voi tuntua ristiriitaiselta, että ne eivät juurikaan vaikuttaisi yksilötiheyksiin ja saalisyyhteisöjen rakenteeseen.

Selitykseksi petojen vaikutuksen puuttumiseen useissa häkkikokeissa on esitetty virtavesihyönteisten luontaista liikkuvuutta. Vaikka kalat saattavatkin ajaa selkärangattomia pakosalle aidatuilta aloilta tai napata niitä saaliikseen, tulee uusia yksilöitä ympäröiviltä, aitaamattomilta alueilta koko ajan lisää. Näin saaliiden liikkuvuus peittäisi alleen kaikki mahdolliset pedon vaikutukset saalistiiheyksiin (Cooper et al. 1990). Toisaalta kalojen läsnäolon on toisinaan todettu aiheuttavan ns. negatiivisen predatiovaikutuksen. Tällöin kalojen läheisyydessä oleskelevat saalisyksilöt vähentävät aktiivisuuttaan, jolloin ne eivät todennäköisesti joudu kalojen saaliiksi, mutta eivät myöskään siirry pois niiden läheisyydestä. Saalistiiheydet kalahäkkien sisällä saattavat siis jopa kasvaa, koska saaliiden vaihdunta koeysikön sisällä on vähäistä: uusia yksilöitä tulee häkkiin, mutta entisetkään eivät sieltä poistu (Sih & Wooster 1994).

Koska kalat saattavat siis muuttaa saalislajien käyttäytymistä monin eri tavoin, ei ole lopulta kovinkaan yllättävää, että tulokset eri tutkimusten välillä ovat vaihdelleet niin paljon. Ilmeistä onkin, että kalapredaation vaikutuksia erilaissa jokisysteemeissä voidaan ymmärtää vasta sen jälkeen, kun kaikkien tärkeimpien saaliskohteiden käyttäytymismekanismit suhteessa petoriskiin tunnetaan tarpeeksi hyvin. Ymmärtämällä yksilöiden käyttäytymistä voimme siis ehkä oppia ymmärtämään myös virtavesien monimutkaisten ravintoverkkojen rakennetta ja toimintaa. Lähitulevaisuuden mielenkiintoisimmat kysymykset virtavesitutkimuksessa liittyvätkin nimenomaan ravintotasojen yli ulottuvien monimutkaisten vuorovaikutusten selvittämiseen. Järvissä on usein havaittu, että kalat saattavat ns. avainpetoina säädellä koko systeemin toimintaa portaittaisen ravintoverkkomallin mukaisesti: planktonia syövä kala vähentää eläinplanktonin määrää, jolloin kasviplankton vapautuu laidunnuspaineesta, mikä puolestaan voi vaikuttaa järven ravinteiden määrään ja siten koko systeemin toimin-

taan. Vaikka tiettyjä merkkejä samankaltaisista vuorovaikutusverkoista myös virtavesissä on olemassa (mm. Power 1990), on tutkimus tässä suhteessa vielä alkuvaiheellaan.

KIRJALLISUUS

- Allan, J. D. 1984. The size composition of invertebrate drift in a Rocky Mountain stream. *Oikos* 43: 68–76.
- Cooper, S. D., Walde, S. J. & Peckarsky, B. L. 1990. Prey exchange rates and the impact of predators on prey populations in streams. *Ecology* 71: 1503–1514.
- Connell, J. H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199: 1302–1310.
- Feltmate, B. W. & Williams, D. D. 1991. Evaluation of predator– induced stress on field populations of stoneflies (Plecoptera). *Ecology* 74: 1836–1846.
- Grime, J. P. 1979. Plant strategies and vegetation processes. John Wiley, Chichester.
- Hemphill, N. & Cooper, S. D. 1983. The effect of physical disturbance on the relative abundances of two filter–feeding insects *Hydropsyche oslare* and *Simulium virgatum*. *Oecologia* 58: 378–382..
- Hildrew, A. G. & Townsend, C. R. 1987. Organization in freshwater benthic communities. Teoksessa Gee, J. H. R. & Giller, P. S. (toim). Organization of communities: past and present. pp. 347–371. Blackwell, Oxford.
- Laasonen, P., Muotka, T., Tikkanen, P., Huhta, A. & Kuusela, K. 1993. Recovery of macroinvertebrate communities from disturbance caused by stream restoration. *Kuopio Univ. Publ. C. Nat. Environm. Sci.* 14: 151–154.
- Muotka & Virtanen 1994. Stream as a habitat templet for bryophytes: species distributions along gradients in disturbance and substratum heterogeneity. *Freshw. Biol.* (painossa).
- Power, M. 1990. Effects of fish in river food webs. *Science* 250: 811–814.
- Sih, A. & Wooster, D. E. 1994. Prey behavior, prey dispersal, and predator impacts on stream prey. *Ecology* 75: 1199–1207.
- Tikkanen, P., Laasonen, P., Muotka, T., Huhta, A. & Kuusela, K. 1994a. Short–term recovery of benthos following disturbance from stream habitat rehabilitation. *Hydrobiologia* 273: 121–130.
- Tikkanen, P., Muotka, T. & Huhta, A. 1994b. Predator detection and avoidance by lotic mayfly nymphs of different size. *Oecologia*.
- Townsend, C. R. 1989. The patch dynamics concept of stream community ecology. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 8: 36–50.
- Wiens, J. A. 1989. Spatial scaling in ecology. *Funct. Ecol.* 3: 385–397.

Pekka Laasonen

Oulun yliopisto, eläintieteen laitos

Timo Muotka

Jyväskylän yliopisto, bio- ja ympäristötieteiden laitos

Pertti Tikkanen

Oulun yliopisto, Oulangan biologinen asema

Arto Huhta

Oulun yliopisto, Oulangan biologinen asema

Kalevi Kuusela

Oulun yliopisto, eläintieteen laitos

4 KUNNOSTUKSEN LYHYEN JA PITKÄN AIKAVÄLIN VAIKUTUKSET POHJAELÄIMISTÖÖN

4.1 Johdanto

Uiton loppumisen myötä on eri puolilla Suomea alettu kunnostaa käyttämättömiä perattuja uittoväyliä. Kunnostuksen tarkoituksena on muuttaa homogeeninen jokiuoma takaisin heterogeeniseksi, monenlaisia virtaustyyppejä sisältäväksi alueeksi, jossa arvokalat viihtyvät. Joenpohjan monipuolistumisen pitäisi pitkällä aikavälillä lisätä myös pohjaeläinyhteisöjen monimuotoisuutta. Toisaaalta kunnostustapahtuma itsessään saattaa aiheuttaa suurenkin tuhon joenpohjan pohjaeläinyhteisölle.

Säännöllisesti ilmeneviä häiriötekijöitä vastaan eläinyhteisö on saattanut kehittää adaptaatioita, mutta ennustamattomat häiriötekijät, kuten suuret tulvat ja tässä tapauksessa joenpohjan kunnostus saattavat aiheuttaa tuhoa eliöyhteisölle (Resh et al. 1988). Tämä ilmiö on havaittu sekä kokeellisissa joenpohjan häirintäkokeissa (Reice 1985; Robinson & Minshall 1986; Lake et al. 1991) että luonnon kokeissa, joissa joenpohjan palautumista on seurattu luonnollisen häiriön jälkeen (Fisher et al. 1982; Giller et al. 1991; Lamberti et al. 1991). Palautumisen nopeus riippuu esimerkiksi häiriön asteesta ja laajuudesta, potentiaalisten kolonisoijien läsnäolosta, häirityn alueen heterogeenisyydestä ja häiriön ajankohdasta (Sousa 1984).

Vuonna 1990 Oulun yliopiston vesiekologian ryhmä aloitti Oulun vesi- ja ympäristöpiirin kanssa projektin, jossa tutkitaan koskikunnostuksen ekologisia perusteita. Tässä artikkelissa tarkastellaan lähemmin eliöyhteisön lyhyen ja pitkän aikavälin palautumista kunnostuksen joenpohjalle aiheuttamasta häiriöstä. Ensimmäisessä osatyössä, joka koskee kunnostuksen jälkeistä kuukauden mittaista tutkimusjaksoa, tarkasteltiin kunnostuksen aiheuttaman häiriön välitöntä vaikutusta pohjaeläimistöön ja veden virtausmalleihin sekä häiriön jälkeistä pohjaeläimistön kolonisaatiota. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään miten pohjaeläinyhteisö reagoi häiriöön, miten nopeasti kolonisaatio tapahtuu ja miten yhteisö muuttuu kolonisaation aikana. Pitkän aikaskaalan työssä mukana oli mm. jokia, joista osa oli kunnostettu jo kahdeksan vuotta sitten, joten tämä mahdollistaa kunnostuksen joenpohjalle ja eläinyhteisölle aiheuttamien pitkäaikaisvaikutusten tutkimisen.

4.2 Pohjaeläimistön lyhytaikainen seuranta

4.2.1 Tutkimusalue

Livojoki kuuluu Iijoen vesistöalueeseen ja saa alkunsa Livojärvestä ja laskee Iijokeen Pudasjärven alapuolella. Tutkimusalue (66° 55' N, 27° 33' E) sijaitsee noin kilometrin mittaisen koskijakson alaosassa. Livojoen leveys tutkimusalueella on noin 20 metriä ja sen keskivirtaama oli tutkimusaikana 5,6 m³/s. Syvyys vaihteli välillä 40–60 cm ja virrannopeus 40–80 cm/s. Kunnostettulla alueella joki virtaa mäntykankaan läpi. Tutkimuskohteessa rannat ovat avoimet, vain muutamien pajupensaiden ja koivujen varjostamat. Pohjan sammalisto koostui pääosin näkinsammal (*Fontinalis*) lajeista. Ennen kunnostusta joenpohja oli suhteellisen tasainen ja muodostui noin 10–20 cm läpimitaltaan olevista kivistä.

4.2.2 Kunnostustapa

Perkaus on yleensä tehty työntämällä kivet jokiuomasta syrjään ja kasaamalla niistä penkat joen rannoille. Tällöin joki on muuttunut homogeeniseksi kanavaksi, jossa on korkeampi kevättulva kuin luonnontilaisessa joessa sekä matalampi ja pitkäkestoisempi kuiva kausi. Suojan määrä joessa elävillä kaloilla on huomattavasti vähentynyt (Lammassaari 1990). Yleisesti ottaen lohikalat ovat vähentyneet ja simppejen, mateen ja mudun määrät ovat runsastuneet.

Kunnostus Livojoen koealalla toteutettiin kaivinkoneen avulla, jolloin kaivuri ajoi pitkin joenpohjaa nostellen suuria lohkaraita jokeen ja samalla kaivaen pohjaan syvänteitä. Suurin osa pohjasta jäi ennalleen, mutta tuli kuitenkin häirityksi kaivinkoneen liikkeistä. Suurien lohkaraitojen lisäksi jokeen ei lisätty muuta uutta materiaalia, vaan pohjaan tehdyt harjanteet koostuivat kaivetuista kuopista saaduista kivistä.

4.2.3 Menetelmät

Pohjaeläinnäytteitä kerättiin sekä kunnostettavalta alueelta että kunnostamattomalta, mutta peratulta referenssialueelta. Näin saatiin tietoa myös lajien vuodenaikaisvaihtelusta. Ensimmäinen näyte tutkimusalueelta (2.7.1990) otettiin 15 päivää (–15) ennen kunnostuksen aloittamista. Samassa paikassa kerättiin näytteitä uudelleen päivinä 2, 4, 8, 15 ja 30 kunnostuksen jälkeen. Näytteenottoa jatkettiin syksyyn asti päivinä 60 ja 90 sekä kesinä 1991, 1992 ja 1993, mutta ainoastaan päivien –15 ja 2–30 tulokset esitetään tässä työssä. Referenssialueella näytteitä kerättiin viisi päivää ennen sekä 10 ja 30 päivää kunnostuksen aloittamisen jälkeen kunnostettavalla alueella.

Näyteyksikkönä käytettiin yksittäisiä kiviä, joita kerättiin 30 kappaletta jokaisella näytteenottokerralla. Kiviä kerättiin käyttäen ositettua satunnaisotantaa, jossa satunnaisia kiviä kerättiin joen poikki kohtisuorilta linjoilta. Näytteistä erotettiin laboratorioissa valkovadilla eläimet, jotka määritettiin mikroskoopin avulla alimmalle käytännölliselle taksonomiselle tasolle.

Aineiston analysointiin käytettiin pääasiassa monimuuttujamenetelmiä. Perinteisen

tilastotieteen menetelmien käyttäminen tässä tapauksessa on vaikeaa, koska kunnostetun ja referenssialueen näytteet on otettu eri päivinä. Monimuuttujamenetelmistä käytettiin oikaistua korrespondenssianalyysiä (Detrended Correspondence Analysis eli DCA)(esim. Sarvala 1984). DCA on yhteisöekologinen ohjelma, joka sijoittaa näyteyksiköt ja lajit ordinaatistoon näytteiden sisältämän numeerisen tiedon perusteella ja mahdollistaa näytteiden välisen yhteisöllisen vertailun.

4.2.4 Tulokset

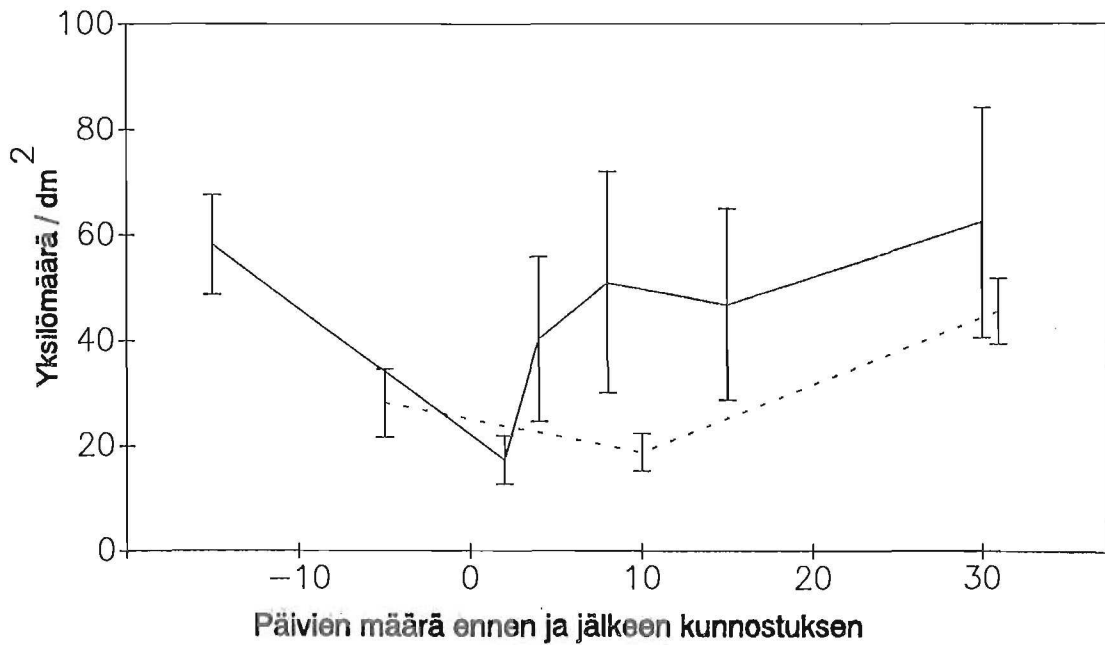
4.2.4.1 Muutokset joen habitaattien rakenteessa

Koealueen kunnostuksen odotettiin lisäävän habitaatin kompleksisuutta, koska jokiuomaan kaivettiin kuoppia ja muutamia suuria lohkaraita siirrettiin penkalta joenpohjaan. Ympäristön muuttuminen havaittiin joenpohjan karkeuden ja keskimääräisen partikkelikoon vähäisenä kasvamisena kunnostuksen jälkeen. Erityisesti partikkelikoon kasvaminen on tärkeää, sillä se tekee joenpohjan stabiilimmaksi vähentäen pohjan mahdollisia liikkeitä tulvan aikana. Sammalten määrän voimakas aleneminen vähentää ympäristön kompleksisuutta pohjaeläinten mikrohabitaattitasolla. Sammalten määrän väheneminen on saattanut vaikuttaa myöskin virtausmalleihin, sillä sammalisto voi muuttaa virtaa hydraulisesti pehmeämmäksi (Davis & Barmuta 1989). Muutokset virtausmalleissa olivat pieniä, kuitenkin suuntaus kohti turbulentsempia, hydraulisesti karkeampia olosuhteita on havaittavissa.

4.2.4.2 Pohjaeläimistön palautuminen

Kunnostuksen välitön vaikutus oli pohjaeläimistön määrän jyrkkä putoaminen (kuva 4). Palautuminen kunnostusta edeltävälle tasolle oli hyvin nopea ja tiheydet saavuttivat lähtötason jo viikon kuluessa.

Kunnostuksen vaikutusta tutkittiin myös tarkastelemalla tiettyjen taksonien runsautta. Kolme ryhmää valittiin niiden suhteellisen liikkumiskyvyn perusteella. Liikkumiskyvyn oletimme hyvin kuvaavan eliön haavoittuvuutta kunnostuksen suhteen. Vahvinta vastetta odotimme mäkärän (*Simuliidae*) toukilta, joiden elämäntapa on suhteellisen paikallaanpysyvää. Vaste kuitenkin peittyi osittain eläimistön vuodenaikaisvaihtelun alle. Tämä monilajinen ryhmä tarvitsee kuitenkin lisätarkastelua, sillä osa käyttäytymisvasteista saattoi peittyä siihen, että määrittäminen riippuu ryhmätasolla. Erittäin liikkuvien päiväkorentojen (*Baetis*) palautumisen oletimme olevan hyvin nopean. Karkeasti ottaen tulokset tukevatkin hypoteesiä, mutta on kuitenkin huomattava vuodenaikaisvaihtelun vaikutus tiheyden muutoksiin. Hitaasti liikkuvan *Rhyacophila*-vesiperhosryhmän kolonisaatio oli odotetun hidasta. Lajiryhmän tiheydet alkoivat vähetä toisesta päivästä alkaen ja saavuttivat alhaisimman arvonsa kahdeksantena päivänä kunnostuksesta. Vaikka tämän hitaasti liikkuvan petolajiryhmän palautumisnopeus oli hitaampi kuin esim. päiväkorennoilla, näytti se silti olevan täysin palautunut kunnostuksesta kahdessa viikossa.



Kuva 4. Pohjaeläintiheydet tutkimusalueella (yhtenäinen viiva) ja referenssialueella (katkoviiva). Pystysuorat viivat ilmoittavat keskiarvon keskivirheen.

4.2.4.3 Pohjaeläimistön yhteisövasteet

Ainoa selvä havainto, joka DCA-analyysin perusteella voidaan nähdä on ero referenssialueen näytteen -5 ja kunnostusalueen näytteen +2 välillä (kuva 5A). Tämä johtuu joko joidenkin dominanssilajien aikuistumisesta tai kunnostuksen aiheuttamista häiriöistä.

Kymmenen tärkeimmän lajin runsaussuhteiden vertailu näytteenottopäivien välillä osoittaa myös vuodenaikaisuuden vaikutusta (kuva 6). Tiettyt lajit runsastuivat ja osa harvinaistui tutkimuksen aikana. Näytepäivien välinen järjestyskorrelaatiovertailu osoittaa kuitenkin hyvin pysyvää yhteisöä kunnostuksen aiheuttamasta häiriöstä huolimatta.

4.3 Kunnostuksen pitkäaikaisvaikutukset

Toisessa työssä tutkittiin pohjaeläimistön pitkäaikaismuutoksia kunnostuksen jälkeen. Tutkimukseen sisältyy sekä perattuja että eri vuosina kunnostettuja Iijoen sivujokia, 1980-luvun alussa kunnostettuja jokia Kuhmosta ja luonnontilaisia jokia Kuusamosta.

Potkuhaavinäytteitä kerättiin 1 (Livo- ja Loukusanjoki), 2 (Pärjän- ja Kouvajoki), 3 Pärjän- ja Naamankajoki) ja 8 (Kiekin-, Kesselin- ja Saunajoki) vuotta kunnostuksen jälkeen. Vertailuna kunnostetuille joille käytettiin perattuja, mutta kunnostamattomia (Mänty- ja Loukusanjoki) (CH) sekä täysin luonnontilaisia (Putaanaja, Avento- ja

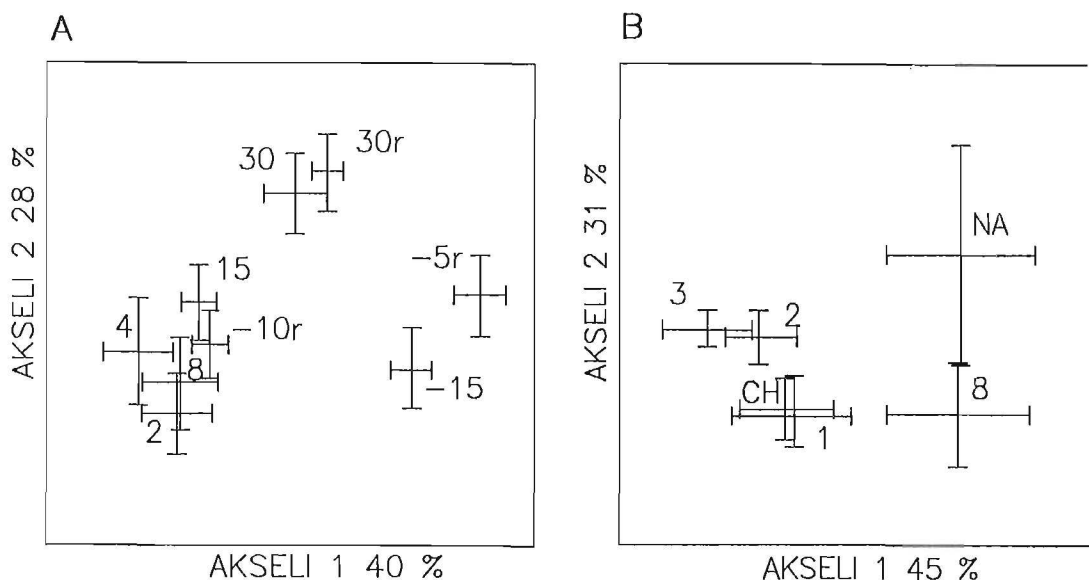
Kuusinkijoki) (NA) jokia. Näytteitä on kerätty sekä kesällä (9–22.6) että syksyllä (30.9–3.10), jotta nähtäisiin mahdolliset muutokset pohjaeläinyhteisöissä eri vuodenaikoina. Tässä tutkimuksessa esitetyissä tuloksissa keskitytään pelkästään syksyn ajan näytteisiin.

4.3.1 Kenttätyöt

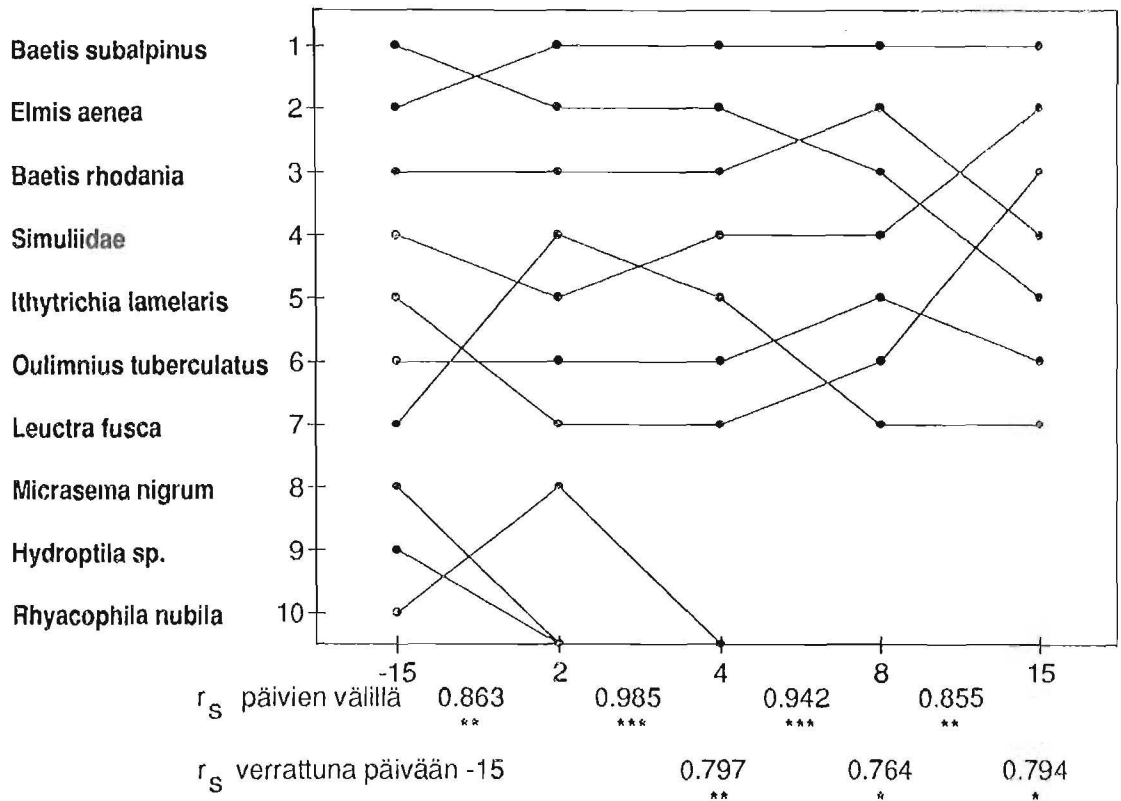
Näytteet otettiin potkuhaavimenetelmällä (4 näytettä/koski). Aineiston tilastollinen analyysi tehtiin samalla tavoin kuin lyhytaikaisen kolonisaation kokeessa käyttäen oikaistua korrespondenssianalyysiä (DCA). Jokaisessa koskessa tehtiin lisäksi habitaattikuvaus (pohjan karkeuden ja sammalpeittävyuden mittausta), jotta pystyttäisiin arvioimaan koskien välisiä eroja.

4.3.2 Tulokset

DCA-analyysin ensimmäisen ordinaatioakselin selvin tulos oli luonnontilaisten (NA) jokien eroaminen kaikista muista paitsi kahdeksan vuotta sitten kunnostetuista joista (Kuva 5B). Toinen akseli erotti peratut kunnostamattomat joet muista, mutta ero ei ollut kovin selvä.



Kuva 5. A) Lyhytaikaisen seurannan pohjaeläinnäytteiden korrespondenssianalyysi (DCA). (r referenssialue). B) Pitkäaikaisen seurannan pohjaeläinnäytteiden DCA-analyysi. Vaaka- ja pystysuorat viivat ilmoittavat 95 %:n luottamusvälin. Akseleiden vieressä selityssasteet.



Kuva 6. Kymmenen tärkeimmän lajin runsausjärjestyksen muuttuminen. Lajiston nimet osoittavat päivän - 15 järjestyksen. Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroin testaa päivien välistä yhteisön pysyvyyttä.

Mahdollisesti luonnontilaiset ja kanavoidut joet muodostavat ominaisuuksiltaan virtavesiyhteisön "ääripäät" ja eri vuosina kunnostetun joet sijoittuvat sitten näiden välille. Vuodet 1–3 kunnostuksen jälkeen eivät eronneet sanottavasti toisistaan, sitävästoin kahdeksan vuotta kunnostettuna olleet olivat lähes täysin palautuneet. Tätä palautumista kuvasi parhaiten kolme lajia, jotka käyttävät pääravintonaan joessa olevia puiden lehtiä (pilkkojia). Nämä lajit ovat usein ravinnoltaan rajoittuneita (Richardson 1991), ja niiden tiheyttä voidaan nostaa muuttamalla joen karikkeenpidättämiskykyä (Dobson & Hildrew 1992). Kunnostus lisää joenpohjan heterogeenisyyttä ja samalla se lisää joen kykyä pidättää siihen joutuvaa orgaanista materiaalia, kuten puiden lehtiä. Toinen kunnostuksen tärkeä seuraus on sammalmäärän raju väheneminen (Taulukko 1). On hyvin tunnettua, että sammalisto tarjoaa sekä ruokaa että suojaa pohjan eliöstölle (esim. Suren et al 1992), joten sammaliston vähenemisen seurauksena pohjan palautuminen luonnontilaiselle tasolle voi kestää kauankin, jopa kymmeniä vuosia.

Taulukko 1. Jokiryhmien fysikaalisia ominaisuuksia

	CH	+1	+2	+3	+8	NA
Pohjan karkeus (cm)	7.7	9.3	10.7	10.5	11.0	12.4
Sammalpeittävyys (%)	40	5	10	25	30	70

4.4 Pohdintaa

4.4.1 Kunnostuksen lyhytaikaiset vaikutukset

Kunnostuksella oli vain vähäinen välitön vaikutus pohjaeläimistöön. Tutkimuksen aikainen eläimistön aikuistuminen peitti alleen kunnostuksen vaikutuksen. Jotta voitaisiin erottaa vuodenaikaisvaihtelun ja kunnostuksen aiheuttamat vaikutukset toisistaan, täytyy referenssi- ja tutkimusalueen yhteisörakennetta verrata toisiinsa. Vertailu osoittaa, että ainoastaan lajien numeerinen vaste oli huomattavissa ja palautuminen oli nopeaa. Kunnostus vähensi kaikkia lajeja tasaisesti, joten yhteisörakenteessa ei näkynyt muutoksia. Kunnostuksen aiheuttamalla häiriöllä ei ollut vaikutusta pohjaeläimistön yhteisörakenteeseen.

Pohjaeläimistön palautuminen oli hyvin nopea. Tähän on oletettavasti kaksi syytä: (1) kunnostuksen voimakkuus oli liian alhainen aiheuttaakseen mitään selvää vaikutusta pohjaeläinyhteisöön ja (2) häiriön ajoitus suhteessa lajien elämänkiertoon oli sellainen, että potentiaalisia kolonisoijia oli paljon tarjolla.

Kunnostuksen aiheuttama häiriö saatoi olla niin vähäinen, että koskemattomilta laikuilta levinneet eläimet pystyivät kolonisoimaan alueen nopeasti. On myös mahdollista, etteivät kaikki pohjaeläimet paenneetkaan häiriötä ajautumalla, vaan jäivät häiritylle alueelle muodostaen perustan yhteisölle, jota Townsend (1989) kutsuu 'reliktikontrolloiduksi' yhteisöksi. Koskemattomien laikkujen jättäminen jokeen kunnostuksen yhteydessä nopeuttaa eläimistön kolonisaatiota.

Reshin et al. (1988) mukaan organismit ovat sopeutuneet ennustettaviin tapahtumiin ja tämän vuoksi ainoastaan ennustamattomilla tekijöillä on ekologista vaikutusta virtavesien yhteisöihin. Tämä korostaa häiriön ajoittumisen vaikutusta eläinyhteisölle. Kesäkuun lopulla kevättulvien jälkeen selkärangattomat yhteisöt ovat saavuttaneet suurimman tiheydensä (Ulfstrand 1968). Tutkimusalueen kunnostusaikana, heinäkuun alussa pohjaeläinfaunaa dominoivat liikkuvat laiduntajat (*Baetis* sp., Elminthidae-kovakuoriaiset) ja mäkärät, joiden on kaikkien todettu olevan nopeita tyhjien laikkujen kolonisoijia (esim. Hemphill & Cooper 1983; Boulton et al. 1988; Richards & Minshall 1988). Erittäin nopean palautumisen mahdollistavia potentiaalisia kolonisoijia oli siis paljon tarjolla (Lamberti et al. 1991). Myös Malmqvist (1992) painottaa ajoituksen tärkeyttä *Baetis*-päiväkorentojen ja mäkärien kolonisoitumisnopeudelle virtavesien hoitotyön yhteydessä.

4.4.2 Kunnostuksen pitkäaikaisvaikutukset

Kunnostuksen pitkäaikaisvaikutukset ovat tiukasti sidottuja pohjan habitaattien rakenteen muutoksiin. Kunnostuksen tarkoitus on lisätä kosken habitaattien fysikaalista kompleksisuutta. Tutkimuksessamme muutos oli pieni, mutta suuntaus kohti turbulenttisempia ja karkeampia virtausmalleja sekä heterogeenisempaa joenpohjaa oli havaittavissa. Suurin muutos oli sammalpeitteen raju väheneminen. Pidemmällä aikavälillä tämän pitäisi vähentää joidenkin pohjaeläinten tiheyksiä (esim. Brusven et al. 1990). Toisenlaisilla kunnostustavoilla on mahdollista nostaa habitaattien muuta kompleksisuutta paljon enemmän kuin Livojoen koealalla. Vaikka eläimistön kuolevuus olisi tällöin suurempi, myöhemmin tämä johtaisi populaatioiden tiheyksien kasvuun ja

yhteisörakenteen monipuolistumiseen.

Habitaattien monimuotoisuuden kasvu tarkoittaa sitä, että pohjaeläimien saatavilla olevien habitaattien määrä on suurempi. Kuitenkin mahdolliset vaikutukset pohjaeläinten ravintoresursseihin ovat sitäkin suuremmat. Joen kyky pidättää siihen tulevaa orgaanista materiaalia, esim. puiden lehtiä, on erityisen tärkeää joessa oleville pilkkojille. Pilkkojien tiheydet ovat suurempia joissa, joilla on korkea karikkeenpidättämiskyky (Prochazka et al. 1991; Richardson 1991; Dobson & Hildrew 1992). Kanavoidut joet eivät pidätä lehtikariketta yhtä tehokkaasti kuin luonnontilaiset (Petersen & Petersen 1991) ja sama koskee jokea ennen ja jälkeen kunnostuksen (Laasonen et al. 1994 julkaisematon). Kehitys pilkkojavaltaiseksi yhteisöksi riippuu lisäksi uuden habitaatin saatavillaolevuudesta ja mahdollisten kolonisoijien leviämiskyvystä. Sammalten määrän lasku hidastaa palautumisnopeutta, joka voi viedä vuosista kymmeniin vuosiin, erityisesti silloin jos kunnostus on ollut voimakas.

4.5 Yhteenveto

Kevyt keskikesällä tehty kunnostus ei muuttanut pohjaeläimistön yhteisörakennetta. Kunnostuksen aiheuttama häiriö näkyi eläimistön numeerisena vasteena, mutta eläimistö palautui ennalleen kahden viikon kuluessa. Palautumiseen vaikutti mahdollisesti kaksi seikkaa: 1) kunnostus oli niin kevyt, että alueelle jäi paljon kolonisoijia ja koskemattomia laikkuja, 2) kunnostusajankohtana joessa oli paljon kolonisoivia eläimiä, jotka mahdollistivat nopean kolonisaation. Virtausmalleissa näkyi suuntaus kohti turbulenttisempia ja hydraulisesti karkeampia olosuhteita. Tämä lisää ympäristön heterogeenisyyttä ja luo siten pohjaa monipuolisemmalle pohjaeläimistölle.

Eri vuosina kunnostuksen jälkeen tutkituissa joissa eläimistö sitä vastoin poikkesi toisistaan. Luonnontilaiset ja kahdeksan vuotta kunnostetuina olleet joet erosivat eläimistöltään muista. Näitä eroavaisuuksia kuvasivat parhaiten lajit, jotka käyttävät joen pidättämää kariketta ravinnokseen. Joen karikkeenpidätyskyvyn muuttuminen onkin tärkeimpiä kunnostuksen pohjaeläimistölle tuovia muutoksia. Toinen tärkeä pitkäaikaismuutos on sammaliston häviäminen. Vasta sammaliston palautuminen ennalleen, mikä saattaa viedä vuosikymmeniä, mahdollistaa pohjaeläimistön palautumisen luonnontilaan tai lähelle sitä.

KIRJALLISUUS

- Boulton, A. J., Spangaro, G. M. & Lake, P. S. 1988. Macroinvertebrate distribution and recolonization on stones subjected to varying degrees of disturbance: an experimental approach. *Arch. Hydrobiol.* 113: 551–576.
- Brusven, M. A., Meehan, W. R. & Biggam, R. C. 1990. The role of aquatic moss on community composition and drift of fish-food organisms. *Hydrobiologia* 196: 39–50.
- Davis, J. A. & Barmuta, L. A. 1989. An ecologically useful classification of mean and near-bed flows in streams and rivers. *Freshwat. Biol.* 21: 271–282.
- Dobson, M., Hildrew, A. 1992. A test of resource limitation among shredding detritivores in low order streams in southern England. *J. Anim. Ecol.* 61: 69–77.
- Fisher, S., Gray, N., Grimm, N., Busch, D. 1982. Temporal succession in a desert stream ecosystem following flash flooding. *Ecol. Monogr.* 52: 93–110.
- Giller, P. S., Sangpradub, N. & Twomey, N. 1991. Catastrophic flooding and macroinvertebrate community structure. *Ver. Int. Verein. Limnol.* 24: 1724–1729.
- Hemphill, N. & Cooper, S. D. 1983. The effect of physical disturbance of the relative abundances of two filter-feeding insects in a small stream. *Oecologia* 58: 378–383.
- Lake, P. S. & Schreiber, S. G. 1991. Colonization of stones and recovery from disturbance: an experimental study along a river. *Ver. Int. Verein. Limnol.* 24: 2060–2064.
- Lamberti, G. A., Gregory, S. V., Ashkenas, L. V., Wildman, R. C. & Moore, K. S. 1991. Stream ecosystem recovery following a catastrophic flow. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48: 196–208.
- Lamassaari, W. 1990. Uitto ja sen vesistövaikutukset. *Vesihallituksen julkaisuja A 54.*
- Malmqvist, B., Rundle, S., Brönmark, C. & Erlandsson, A. 1992. Invertebrate colonization of a new, man-made stream in southern Sweden. *Freshwat. Biol.* 26:307–324.
- Petersen, L. B. -M. & Petersen, R. C. Jr. 1991. Short term retention properties of channelized and natural streams. *Ver. Int. Verein. Limnol.* 24: 1756–1759.
- Prochazka, K., Stewart, B. A. & Davies, B. R. 1991: Leaf litter retention and its implications for shredder distribution in two headwater streams. *Arch. Hydrobiol.* 120: 315–325.
- Reice, S. R. 1985. Experimental disturbance and the maintenance of species diversity in a stream community. *Oecologia* 67: 90–97.
- Resh, V. H., Brown, A. V., Covich, A. P., Gurtz, M. E., Li, H. W., Minshall, G. W., Reice, S. R., Sheldon, A. B., Wallace, J. B., Wissmar, R. 1988. The role disturbance in stream ecology. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 7: 433–455.
- Richards, C. & Minshall, G. W. 1988. The influence of periphyton abundance on *Baetis bicauda*–

- tus distribution and colonization in a small stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 7:77–86.
- Richardson, J. 1991. Seasonal food limitation of detritivores in a montane stream: an experimental test. *Ecology*. 72: 873–887.
- Robinson, C. T. & Minshall, G. W. 1986. Effects of disturbance frequency on stream benthic community structure in relation to canopy cover and season. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 5: 237–248.
- Sarvala, J. 1984. Numeerinen yhteisöanalyysi vesistötutkimuksissa. *Luonnon Tutkija* 88:108–115.
- Sousa, W. P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 15: 353–391.
- Suren, A., Winterbourn, M. 1992. The influence of periphyton, detritus and shelter on invertebrate colonization of aquatic bryophytes. *Freshwat. Biol.* 27: 327–339.
- Townsend, C. R. 1989. The patch dynamics concepts of stream community ecology. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 8:36–50.
- Ulfstrand, S. 1968: Benthic animal communities in Lapland streams. *Oikos Suppl.* 10. 120 pp.

Timo Yrjänä

Oulun vesi- ja ympäristöpiiri

5 KUNNOSTUSTÖIDEN TOTEUTTAMINEN JA TYÖMENETELMÄT

5.1. Kunnostuksen periaatteet

Uittoa varten perattujen jokien kunnostamisessa päätavoitteena on uiton edistämiseksi tehdyistä töistä aiheutuneiden *haittojen vähentäminen*. Tarkoituksena on parantaa vesistöjen kalataloudellista ja virkistyskäyttöarvoa ja palauttaa jokimaisema lähemmäs luonnontilaa.

Uitto on pyrkinyt muotoilemaan joet tasapohjaisiksi kouruiksi ja jakamaan joen kaltevuuden mahdollisimman tasaisesti. Kunnostuksessa (entisöinnissä) uoman syvyys ja leveysvaihtelua lisätään. Koski-suvanto -vuorottelu selvenee. Uoman karkeus kasvaa. Matalien ranta-alueiden määrä lisääntyy. Elinympäristön monipuolistuminen tarjoaa laajemmalle eliöjoukolle elinmahdollisuuksia.

Perattua vesistöä ei ole mahdollista täysin palauttaa luonnontilaan. Kaikkien eliölajien elinympäristövaatimuksia ei tunneta ja vaikka tunnettaisiinkin, niitä ei pystyittäisi ottamaan entisöinnissä huomioon. Näistä syistä monimuotoisuuden lisäämisen on oltava kunnostuksen keskeinen periaate. Tämän lisäksi on mahdollista ottaa huomioon halutuimpien kalalajien elinympäristövaatimuksia (kutupaikat, poikasaluet jne) ja huolehtia siitä, että niiden tärkeimpiä elämänvaiheita (kutu, poikasaluet jne) varten löytyy sopivia alueita. Tietoja taimenen, lohen ja harjuksen elinympäristövaatimuksista ovat viime aikoina Pohjoismaissa esittäneet mm. Greenberg (1994) ja Heggenes (1994).

5.2. Menetelmät

5.2.1 Yleistä

Uittoa varten tehdyissä perkauksissa uomasta poistettu materiaali on usein käytetty uittoränniä rajoittaviin penkereisiin ja puiden ohjailuun tarkoitettuihin suisteisiin. Nämä penkereet ovat yleensä Pohjois-Suomen harvaan asutulla seudulla edelleen paikoillaan. Siten penkereistä saadaan entisöintiin tarvittava materiaali. Ainoastaan isompien järvien tai suvantojen vesipintojen palauttamiseksi tehtäviin pohjapatoihin tarvitaan betonirakenteita. Joissakin tapauksissa muualta tuotua materiaalia on tarvittu myös peratun kosken tai nivan kiveämiseen. Näiden lisäksi arvokalojen kutualueiden parantamiseen on usein jouduttu käyttämään muualta kuljetettua soraa entisen hävittyä tai kulkeuduttua pois perkausten seurauksena.

Peratun kosken uudelleen rakentamisen kokonaiskustannukseksi on Iijoella tullut 20 000–30 000 mk/ha. Ääritapauksissa jonkin vaikean kohteen hinnaksi on muodostunut 40 000 mk/ha. Työvälineenä on ollut lähes yksinomaan noin 20 tn:n painoinen, leveätelainen kaivinkone. Kaivinkoneen kuljettajan lisäksi entisöintityöryhmään on kuulunut kalatalousasiantuntija, tekninen työnjohtaja ja 1–5 raivaus- ym. työntekijää. Työn alkuvaiheessa aiheeseen perehtynyttä kalatalousasiantuntijaa tarvitaan jatkuvasti

työmaalla ohjaamassa työtä ja kouluttamassa teknistä henkilökuntaa. Työryhmän harjaannuttua riittää, kun kalatalousasiantuntija, työnjohtaja ja koneenkuljettaja suunnittelevat kunnostustyön yksityiskohtaisen toteutuksen kullakin kohteella. Peratun kosken kunnostussuunnitelmaa on lähes mahdoton laatia paperilla niin yksityiskohtaiseksi, että se olisi yksiselitteisesti toteutettavissa. Sen sijaan suunnitelmassa on tietysti oltava näkyvissä työn päälinjat: kunnostettava alue, vesitettävät sivu-uomat, yläpuolisen suvannon tai järven vedenkorkeuden tavoitetaso ja mahdolliset erikoistoimenpiteet sekä jonkinlaiset yleisohjeet kalojen elinalueiden parantamiseksi.

5.2.2 Koski-suvanto vuorottelun palauttaminen

Iijoen eri sivujoilla suvantojen keskipituus on 100–1500 m. Suvantojen välillä on yleensä 300–500 m pitkä koskijakso. Uittoja varten perattiin pääasiassa koskialueita, jolloin koski-suvanto -vuorottelu heikentyi ja huomattava osa kalahabitaateista menetettiin (vertaa Swales 1994). Kun koskialueet kunnostetaan, vuorottelu palautuu lähelle luonnontilaa. Suvannoissa vesisyvyys kasvaa ja virran nopeus hidastuu. Suvantojen ja järvien alivesipinnat alentuivat Iijoen uittoperkauksissa 10–100 cm, kunnostuksessa niitä nostetaan 20–50 cm. Suvantoja, joiden vesipintoja kunnostuksessa nostetaan, on Iijoen sivu- ja latvavesissä noin 20–50 kpl jokea kohti. Järviä, joissa alivesipintaa nostetaan, on yleensä muutamia kullakin kohteella.

5.2.3 Kuivillaan olevien uomanosien vesittäminen

Uittoja varten tehdyissä perkauksissa on jokia oiottu ja poukamia sekä sivu-uomia suljettu (Kuva 7). Oulun vesi- ja ympäristöpiirin arvion mukaan mereisten vaelluskalojen lisääntymisalue pieneni Iijoella uittoperkauksien takia 193 ha:sta 109 ha:iin. Kuivillaan olevien uomanosien palauttaminen joen yhteyteen lisää tehokkaimman joen hydraulista ja morfologista monimuotoisuutta.

Oikaisukanavat voidaan sulkea osittain tai kokonaan (kuva 1). Virtauksen täydellinen palauttaminen luonnonuomaan antaa luultavasti parhaan lopputuloksen pitkällä aikavälillä, mutta vaatii suuria massansiirtoja ja työjälkien huolellista maisemointia. Suljettavien ja täytettävien oikaisu-uomien alaosat on Iijoella usein jätetty kosteikko-alueiksi, yläosien maaperä on pyritty saamaan metsän kasvulle sopivaksi.

5.2.4 Habitaatin parantaminen peratussa uomassa

Kynnys

Päämenetelmänä peratun uoman monimuotoisuuden lisäämisessä on Iijoella käytetty kynnyksien rakentamista (kuva 8). Käytetyillä kynnyksillä ei ole ollut yhtä vakiorakennetta, vaan niiden rakenne on vaihdellut muutamasta vierekkäin asetetusta isosta lohkarista joen pohjatason nostamiseen sadan metrin matkalla.

Luonnonmukaisen näköinen kynnys saadaan aikaan tekemällä isoista lohkarista harvahko, joen leveydestä riippuen 5–50 m leveä, "rintama" joen poikki ja täyttämällä lohkariden välit pohjan läheltä pienemmillä kivillä ja soralla. Kynnys ei saa olla koko korkeudeltaan tiivis, vaan sen tulee läpäistä virtausta yläosastaan. Tällöin se tarjoaa

myös runsaasti suojapaikkoja pohjaeläimistölle ja kaloille. Kynnys padottaa vettä, jolloin sen yläpuolelle syntyy hidasvirtaisempi ja syvämpi alue, jolle voi esimerkiksi sijoittaa isoja lohkareita pyyntikokoisten kalojen "asentopaikoiksi". Kynnykseen ja sen alapuolelle syntyy kiivasvirtaisempaa kivikkohabitaattia. Kynnyksen kohdalla ranta saattaa syöpyä, jos se koostuu eroosiolle herkistä maalajeista. Kynnysten sijoittelussa tuleekin pyrkiä jäljittelemään joen luonnontilaista rakennetta, jolloin myös rannat kynnyksen sijaintipaikoilla ovat kestäviä. Weschen (1985) mukaan kynnys on käyttökelpoisin joessa, jonka kaltevuus on 0,5–2,0 %, Iijoella kynnyksiä on käytetty jokijaksoilla, joiden kaltevuus on ollut 0,3–1,5 %. Sitä kaltevammille paikoille ei kynnyksiä voi ilman erikoisia tukirakenteita tehdä.

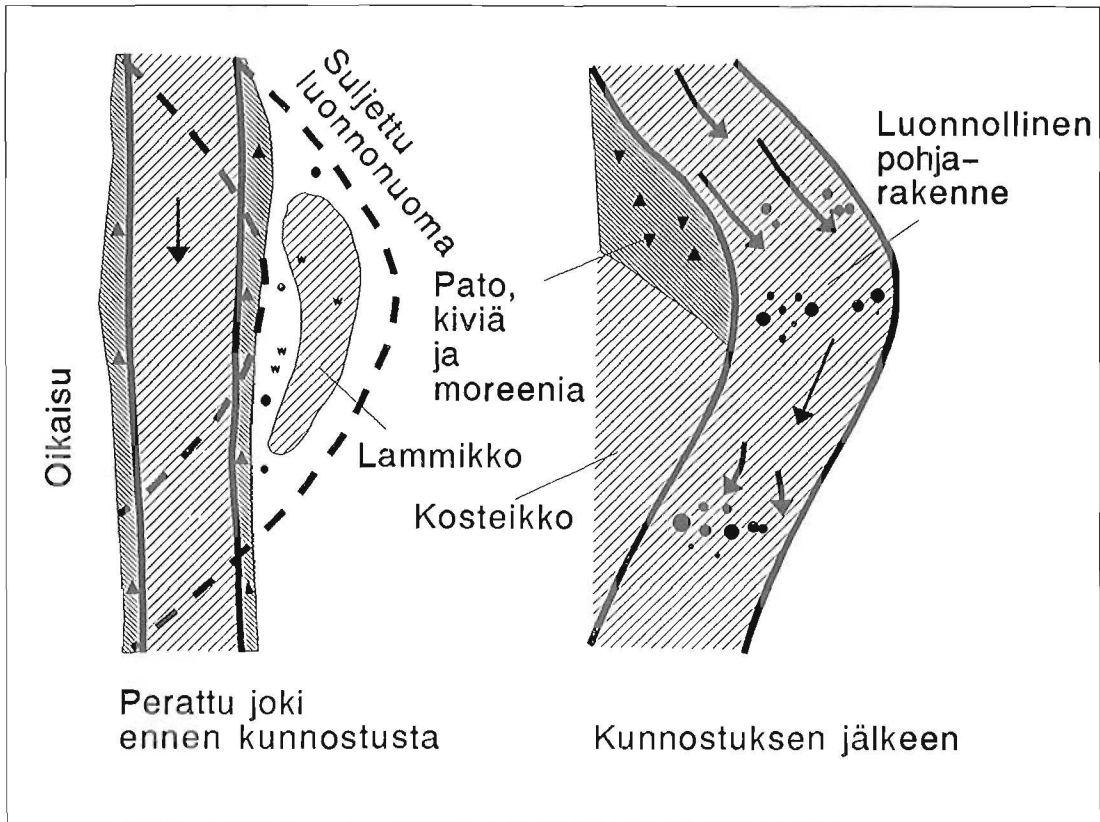
Isojen kynnysten tekeminen on osoittautunut tehokkaimmaksi yksittäiseksi, taimenen poikastuotantoa lisääväksi kunnostusmenetelmäksi uittoa varten perattujen jokien kunnostamisessa (Näslund 1987, luku 6, Jutila 1994). Ijoen kunnostuskohteilla laajoissa lohkareista ja pikkukivistä tehdyissä kynnyksissä taimenenpoikasia on ollut parhaimmillaan 40–80 yks/100 m² (Yrjänä, julkaisematon aineisto). Eräällä Ijoen sivujoella, Kutinjoella, ennen ja jälkeen kunnostamisen tehdyissä habitaattimittauksissa näytti siltä, että joissain tapauksissa isoihin kynnyksiin saattaa kulua liian suuri osa 0–vuotiaiden taimenten elinalueeseen tarvittavasta materiaalista, pikkukivikosta (luku 9, Huusko ja Korhonen 1994). Edellä mainitut mittaukset on tehty alivirtaamatilanteessa, joten on mahdollista, että koko vuoden mittakaavassa habitaattien jakauma on toisenlainen. Aineistoon ollaan soveltamassa PHABSIM –habitaatinlaatumallia, jolla on mahdollisuus simuloida erilaisia virtaamatilanteita (Huusko ja Yrjänä, julkaisematon aineisto). Kynnyksiä tehtäessä tulee kuitenkin huolehtia siitä, että koskiin tulee riittävästi matalaa pikkukivikkoista aluetta, jossa virrannopeus on kohtalainen.

Suiste

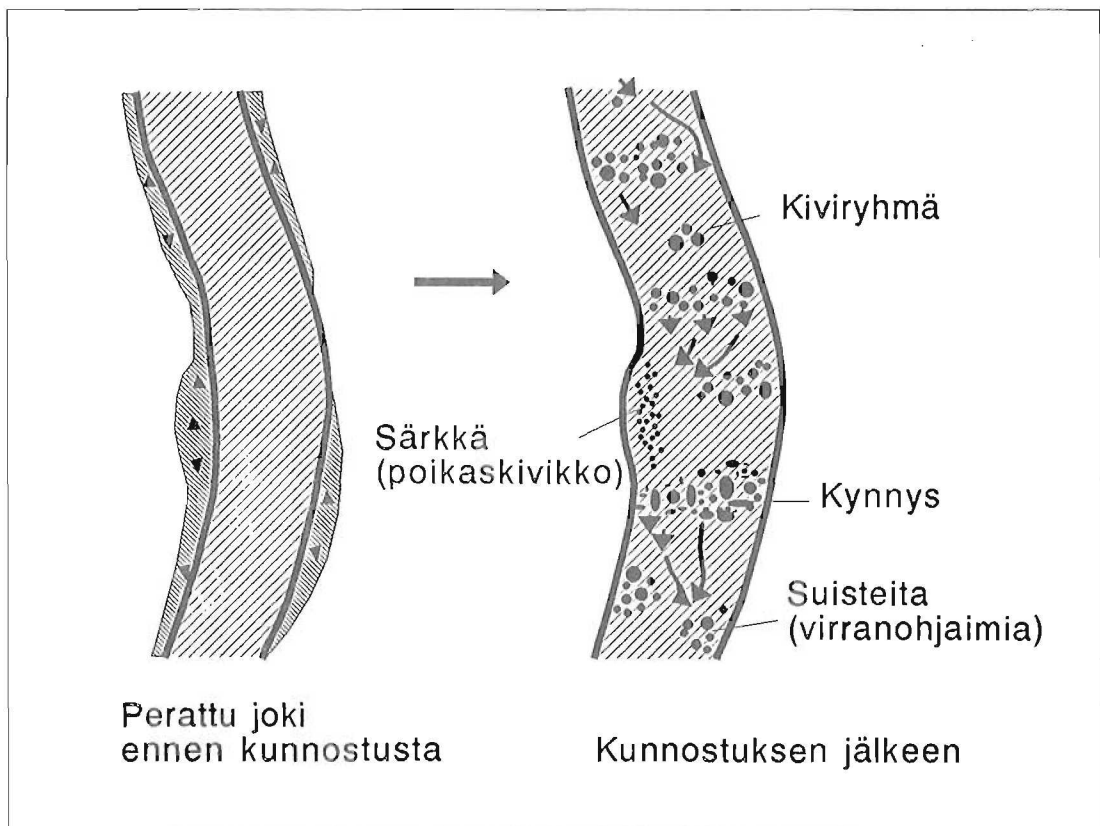
Suisteen avulla voidaan aiheuttaa vaihtelua virran nopeuteen, synnyttää syvämpiä kohtia ja aikaansaada eroosio- ja kaasaantumisalueita. Karkeasta materiaalista tehty suiste (kuva 8) tarjoaa myös suojaa pohjaeläimille ja kaloille.

Rakenteena suiste on yksinkertainen ja halpa. Weschen (1985) mukaan suisteen pituuden on oltava vähintään puolet uoman leveydestä, jotta se toimisi tehokkaasti. Brookesin (1988) mukaan suisteiden välisen etäisyyden tulisi olla sama kuin kynnysten eli 5–7 kertaa uoman leveys. Suisteilla on Brookesin (1988) mukaan merkitystä virtauksen ohjailussa ainoastaan paikoissa, joissa virran nopeus on yli 0,6–0,9 m/s.

Ijoen alueen entisöinnissä suisteita on käytetty muiden kunnostusrakenteiden lisänä ja paikoissa, missä veneliikenteen takia ei voi käyttää kynnyksiä. Hidasvirtaisten nivojen entisöinnissä suisteiden käytöstä on Iijoella saatu hyviä kokemuksia. Kynnys sopii ainoastaan nivan niskalle: sillä saadaan nostettua yläpuolisen suvannon vesipintaa, mutta, jos nivan keskelle rakentaa kynnyksen, suuri osa koko nivan putouskorkeudesta keskittyy siihen ja virtakalojen elinympäristö saattaa jopa vähetä. Suisteita tekemällä virtausnopeuteen saadaan vaihtelua ja usein pehmeäpohjaiseseen nivaan syntyy sen ansiosta myös syvämpiä kohtia.



Kuva 7. Uittoperkauksissa kaivetun oikaisu-uoman sulkeminen ja luonnon uoman vesittäminen



Kuva 8. Koskien kunnostamisessa käytettyjä rakenteita

Asentokivet ja kiviryhmät

Yksittäisiä kiviä ja kiviryhmiä (kuva 8) on Iijoella käytetty erityisesti isompien kalojen ruokailu- ja suojapaikkojen lisäämiseen. Kivien avulla on parannettu kalojen liikkumismahdollisuuksia kiivasvirtaisissa paikoissa, esim. pohjapatojen yhteydessä. Hidasvirtaisissa nivoissa kiviryhmien sijoittelu on ollut keskeinen kunnostustapa.

Isojen kivien alavirran puolelle on yleensä kaivettu muutaman neliömetrin laajuinen kuoppa. Iijoen koskilta on havaintoja siitä että, jos lohkareen yli ei tulva-aikaa lukuunottamatta virtaa vettä, lohkareen alavirran puolelle kaivettu kuoppa saattaa täyttyä muutamassa vuodessa. Veden virratessa kiven yli putoava virtaus pitää kuopan auki ja jopa syventää sitä. Jos haluaa olla varma asentokiven alapuolisen kuopan aukipysymisestä kannattaa sijoittaa kivet siihen tasoon, että niiden yli virtaa vesi suurimman osan vuotta tai siten, että useampi lähekkäin asetettu kivi kuristaa virtausta ja siten pitää hienot ainekset liikkeessä.

Syöpyvän kuopan alapuolelle taas saattaa kertyä hienompaa ainesta. Muutama vierekkäin asetettu lohkare (ei aivan kiinni toisiinsa) tarjoaa yleensä enemmän suojaa kuin sama määrä erikseen ripoteltuja kiviä. Weschen (1985) mukaan lähekkäin asetetut kivet myös aikaansaavat pehmeälle pohjalle asetettuna laajemman syvänteen kuin yksittäiset kivet.

Yksittäin sijoitettavien kivien tulee olla suuria. Wesche (1985) suosittelee 0,6–1,5 m halkaisijaltaan olevien lohkareiden käyttöä. Lähelle rantaa asennetut lohkareet saattavat aiheuttaa rannan syöpymistä (Wesche 1985).

Pohjoisissa oloissa on tärkeää, että koskessa on pinnan yläpuolelle ulottuvia lohkareita. Ne edesauttavat jääkannen muodostumista ja siten lyhentävät vesieliöille vaarallista suppokautta. Lohkareet myös estävät jääkannen laskeutumista pohjaan virtaaman talvella vähetessä.

Pienpoikasalue

Luonnontilaisessa koskessa on laajoja matalia, pikkukivisiä alueita. Huolimatta siitä, että niissä veneily on vaikeaa eikä niissä ole juuri sijaa pyyntikokoiselle kalalle, niiden palauttaminen on tärkeää virtakalojen pienimpien poikasten elinalueiden riittävyyden turvaamiseksi. Jättämällä uittoränniä rajanneen penkereen pohjalle pikkukivikkoa saadaan muodostumaan pienialaisempia pikkupoikasalueita, särkkiä (kuva 8). Tällainen särkki tarjoaa runsaasti pienimmille kalanpoikasille sopivia suojakoloja ja saattaa soveltua myös kutualueeksi. Pikkupoikasaluetta saadaan aikaan myös vuolaaseen koskeen kaivamalla uoman sivuun matalia poukamia, joissa virrannopeus on kohtuullinen ja pohja pientä kivikkoa.

Goren (1985) mukaan pohjaeläintuotanto on suurinta virtapaikoilla, joissa pohja koostuu sorasta tai pikkukivikosta. Uoman levennys tai sisäkaarre soveltuvat hyvin pikkukivikon paikoiksi (vertaa luku 7, Pekkala ja Pekkala 1994). Kovin kaltevilla, suorilla koskiosuuksilla pikkukivikko (särkki) ei pysy paikoillaan.

Iijoen kunnostetuilla joilla tehdyissä sähkökalastuskokeissa tavattiin eräillä särkkäalueilla runsaasti juuri kesänvanhoja taimenenpoikasia. Parhaalla alueella kesänvanhoja poikasia oli 72 yks./100 m². Samalla alueella oli lisäksi isompia 1–2 vuotiaita

taimenia 14 yks./m² (Eero Jutila, julkaisematon aineisto).

Kunnostustyön on havaittu Iijoen lisäävän 1-vuotiaiden taimenten (*Salmo trutta*) elinaluetta. Nuorimpien taimenenpoikasten elinaluetta kunnostus ei sen sijaan näyttäisi lisäävän (katso luku 6, Jutila, 1994 ja luku 9 Huusko ja Korhonen 1994). Jatkossa tulee kiinnittää enemmän huomiota juuri pienimpien poikasten elinalueiden määrän lisäämiseen.

5.3 Kunnostuksen vaikutus veden laatuun

Kunnostustyön aikana veden laatua on seurattu jokaisella Iijoen kunnostuskohteella. Vuosina 1988–1992 otettiin yhteensä 363 vesinäytettä, joista analysoitiin sameus, kiintoaine, pH ja rautapitoisuus. Suurimmat mitatut kiintoainepitoisuudet välittömästi työkohteen alapuolella ovat eri joilla olleet 100–600 mg/l, suurimmat sameusarvot 70–700 FTU ja suurimmat rautapitoisuudet 6 000–26 000. Puolen kilometrin etäisyydellä, mistä toinen seurantanäyte Iijoen on otettu, muutokset ovat olleet jo selvästi vähäisempiä. pH:ssa ei ole ollut eroa työkohteen ylä- ja alapuolella.

Koska kunnostustyön vaikutus kullakin paikalla on lyhytaikainen, yleensä korkeintaan muutamia päiviä, eivät todetut vedenlaatumuutokset ole olleet kaloille haitallisia verrattuna esim. Alabasterin ja Lloydin (1982) ilmoittamiin sietorajoihin. Keskimääräiset muutokset ovat olleet paljon edellä mainittuja pienempiä.

5.4 Virtavesien eliöstön huomioiminen kunnostuksessa

Kunnostuksen vaikutusta pohjaeläimiin ja pohjaeläimistön kehittymistä Iijoen kunnostuskohteilla on tarkasteltu toisaalla tässä julkaisussa (luku 4, Laasonen ym. 1994). Pohjaeläimistöä on havaittu karkoittuvan kunnostuskohteelta työn aikana, mutta eläimistön palautuminen työn päättymisen jälkeen on ollut erittäin nopeaa.

Vesisammalet muodostavat kosken kivien pinnalle tiheitä kasvustoja, jotka pidättävät vedessä ajelehtivaa orgaanista ainesta. Vesisammalkasvustot tarjoavat suojaa ja ravintoa pohjaeläimille ja sitä kautta myös kaloille (Kuusela 1979). Vesisammal leviää erittäin hitaasti kunnostuksen jälkeen, vielä useiden vuosien kuluttua niiden peittävyys saattaa olla vain muutamia prosentteja koskialasta (Jokikokko 1987, Kännö 1987, Laasonen et al. 1993). Sammalen puuttuminen tai vähäisyys aiheuttaa muutoksia pohjaeläimistön koostumuksessa. Sammal tarjoaa suojaa kaloille ja vaikuttaa uoman hydraulisiin ominaisuuksiin. Pohjasammaleen säilymistä ja nopeaa palautumista voi edesauttaa vähentämällä kaivinkoneen edestakaista liikkumista koskessa ja jättämällä pohjaan koskemattomia laikkuja.

Pohjasammalen siirtoistuttamista paljaalle koskenpohjalle on kokeiltu mm. Perhonjoella (K-M. Vuori, suullinen ilmoitus). Laajojen alueiden kasvittamisessa siirtoistutus lienee liian työläs ja kallis keino, mutta joissakin erikoiskohteissa sammaleisten kivien tai irrotetun ja märkänä pidetyn sammalen siirtäminen käsittelemättömältä alueelta paljaalle alueelle saattaisi olla perusteltua. Siirretyt sammaleet voisivat toimia uuden sammaleen leviämiskeskuksina.

Jokihelmisimpukka on uhanalainen ja luonnonsuojelulailla rauhoitettu eläin. Jotta joki soveltuu jokihelmisimpukan elinalueeksi siinä tulee Valovirran (1990) mukaan mm: olla jokihelmisimpukan väli-isännäksi sopivaa lohikalaa, esimerkiksi purotaimenta, veden laadun tulee olla hyvä eikä liian humuspitoinen, pH:n tulee olla välillä 6–7 ja joessa tulee olla lajien elinympäristöksi sopivia sora- ym kiinteitä pohjia.

Simpukat hyötyvät kunnostuksesta, koska kunnostus parantaa niiden väli-isäntien, taimenten, elinmahdollisuuksia. Simpukat hyötyvät myös niiden elinalueelle sijoitetun isojen lohikareiden antamasta suojasta esim. tulvia vastaan. Toisaalta jokihelmisimpukat ovat erittäin herkkiä veden samentumiselle. Ne kestävät vain luonnontilaisessa joessa tulvan aikana vallitsevaa kiintoainepitoisuutta eli enintään 30 mg/l (Valovirta 1990). Ijoen kunnostuskohteiden alapuolella on työaikainen kiintoainepitoisuus usein ylittänyt tämän raja-arvon: Pärjänjoella 1989 keskimäärin 66,3 mg/l (3,3–606 mg/l), Kouvanjoella 1989 keskimäärin 195,3 mg/l (8,5–630 mg/l) (Yrjänä 1990) Korpuanjoella vuonna 1992 keskimäärin 52,6 mg/l (9,1–149,0) (Pekkala 1992). Vielä 500 m kunnostuskohteen alapuolella kiintoainepitoisuus esim. Kouvanjoen kunnostuskohteilla oli 57,6 mg/l ((1,2–247,1 mg/l) ja Korpuanjoella vuonna 1992 29,3 mg/l (3,1–105,7 mg/l). Yleistäen voisi sanoa, että Ijoen kunnostuskohteilla kiintoainepitoisuus on yleensä ylittänyt työaikana jokihelmisimpukan sietorajan seuraavaan alavirranpuoleiseen suvantoon asti.

Oulun vesi- ja ympäristöpiiri on selvityttänyt jokihelmisimpukkakantojen koon, sijainnin ja tilan Maailman luonnonsäätiön jokihelmisimpukkatyöryhmällä ennen kunnostustöiden aloittamista niiltä Ijoen osa-alueilta, joilla kyseistä lajia on epäilty olevan. Alueilla, joilta simpukkaa on löytynyt, kunnostus on tehty jokihelmisimpukkatyöryhmän ohjeiden mukaan. Ohjeisiin on sisältynyt mm. suunniteltujen töiden supistamista, työmenetelmien muuttamista ja simpukoiden siirtoja joiltain alueilta turvaan työn ajaksi (Valovirta 1990, 1993). Keskeisin simpukoiden takia tehty muutos kunnostussuunnitelmiin on ollut purettavien ohjepenkereiden määrän vähentäminen (penkereiden täydellisen poiston sijasta niistä muovattiin pitkänomaisia saaria). Työmenetelminä simpukka-alueilla on käytetty mm. jokeen asetettavan kiviaineksen lajittelua maalla niin, että sen mukana ei mennyt veteen kiintoainetta, ohjepenkereiden purkua kivivallin suojassa sekä vesitettävien sivu-uomien puhdistusta kuivatyönä ja vesittämistä vähitellen käyttäen irtoavan kiintoaineen pysäyttämiseen perättäisiä suodatinkangaspatojen avulla muodostettuja laskeutusaltaita.

Edellä mainituilla toimilla saatiin Livojoen kunnostuksessa kiintoainepitoisuus simpukoiden esiintymisalueilla pysymään yhtä havaittua poikkeusta lukuunottamatta pysymään raja-arvon 30 mg/l alapuolella ja työkohteellakin kiintoainepitoisuuksien keskiarvo jäi 18,3 mg/l. Kesällä 1994 tehdyssä simpukkakartoituksessa todettiin Livojen jokihelmisimpukoiden kestäneen kunnostustyöt erittäin hyvin (Valovirta, suullinen ilmoitus).

Rapualueilla kunnostustöiden tekeminen on pyritty ajoittamaan parhaan pyyntikauden ja ravun herkkien elämänvaiheuden (esim. Westman ja Nylund 1985) ulkopuolelle. Eräällä merkittävällä ravustuskohteella sovittiin kalastuskuntien kanssa rapujen poispyytämisestä työalueelta ennen kunnostuksen aloittamista ja rapujen pitämisestä sumpuissa yläpuolisella jokialueella työn ajan. Kyseiseltä kohteelta rapurutto ehti kuitenkin tappaa ravut ennen kunnostustöiden aloittamista.

Kunnostustöiden ajoittamisessa on myös pyritty välttämään töiden tekemistä paikalli-

sesti merkittävänä kalastuskausina (nahkiaisien pyynti, siian pyynti jne). Iijoen yläosalla on kunnostustöitä jouduttu tekemään pelkästään viileän veden aikana (alle 10 °C), jotta alueen monilla kalankasvatustiloilla ei aiheutuisi tappioita. Silti tiloilla on ollut vaikeuksia kalojen syöttämisessä työn aikana.

5.5 Virtakalojen kutumahdollisuuksien parantaminen

Useat virtakutuiset kalat hautaavat mätimunansa soraan. Peratussa joessa on vähemmän lajittuneita pohjamateriaaleja kuin luonnontilaisessa joessa (Brookes 1988). Iijoen vesistöalueen uittoperkauksissa virtapaikoista ovat hävinneet suojaiset ja hidasvirtaiset osat, joihin soraa voisi kertyä. Heikosti lajittunutta soraa on löydetty suvantojen yläosista, missä ne eivät liene virtakutuisten kalojen käytössä.

Kutumahdollisuuksia on Iijoella parannettu siirtämällä luonnonsoraa sopiviin virtapaikkoihin ja tekemällä keinotekoisia kutupohjia muualta tuodusta seulotusta sorasta. Luonnonsoraa on käytetty aina kun sitä on joesta tai jokivarteen pusketuista penkereistä löydetty. Ainakin Iijoen alueella luonnosta löydetty sora on pääosin hienompijakoista, mitä esim. Järvisalo ym. (1984) ovat havainneet taimenen käyttävän kutupaikkanaan. Osa hienoimmasta aineksesta tosin irtoaa sorasta jo siinä vaiheessa, kun kaivinkone siirtää sitä veteen. Soran lajittelu on raakamateriaalin valikointia lukuunottamatta jätetty virran tehtäväksi. Luonnon soraa on ainoastaan siirretty paikalle, missä virta pääsee siihen käsiksi. Kutupaikka muodostuu siten siihen mihin tulvan kuljettama sora pysähtyy. Tapauksissa, missä raakamateriaali on suurinpiirtein arvokalojen vaatimukset täyttävää, luonnonsoraa on myös siirretty suoraan sopiville kutualueille.

Uusien (=keinotekoisten) kutupaikkojen rakentamisessa käytetyn soran keskiraekoko on ollut noin 15 mm ja ääripäät 8 ja 45 mm. Vuosina 1990–1991 tehtiin neljälle Iijoen sivujoelle 50 keinotekoista kutualueita. Niiden suunnitteluperusteena käytettiin lähinnä eräässä keskisuomalaisessa kunnostetussa koskessa mitattuja taimenen kutupaikkavaatimuksia raekoon, vesisyvyyden ja virannopeuden suhteen (Järvisalo ym. 1984).

Seulotusta sorasta tehdyn aarin laajuisen kutupaikan kokonaiskustannuksiksi on Iijoen alueella, missä tiestö on harva, muodostunut 5 000 – 10 000 mk/kutupaikka. Sora on jouduttu kuljettamaan ensin autolla metsäautotien varteen ja sieltä metsätraktorilla talven aikana jokivarteen. Jokeen sora on siirretty kaivinkoneella seuraavana kesänä.

Järvitaimenen (*Salmo trutta trutta* L) kutupaikan valintaa tutkittiin Iijoella syksyllä 1991 erääseen sivu-uomaan tehdyssä aitauksessa, johon sijoitettiin 10 kutuvalmista naarasta ja 10 urosta. Aitauksessa oli kaksi keinotekoista, seulotusta sorasta tehtyä kutualueita. Luonnon soraa/hiekkaa ja pikkukivikkoa oli myös tarjolla (Tähtinen ja Yrjänä, julkaisematon aineisto).

Kaikki naaraskalat laskivat mätimunansa kokeen aikana, yhdeksän kutupesää löydettiin. Kaikkien kutupesien läheisyydessä oli joku virtausta ohjaava ja suojaava antava tekijä: viittä pesää suojasi yksi tai useampi lohkare, 2 sijaitsi sekä rantapenkereen että lohkareen läheisyydessä, 1 pelkän rantatörmän vieressä, 1 koealuetta rajaavan verkkoaidan vieressä. Keinotekoisella kutualueella pesistä oli 4. Kokeen perusteella

voitiin päätellä, että kutualustalle täytyy soran lisäksi sijoittaa lohkareryhmiä antamaan suojaa ja kiihdyttämään virtausta paikallisesti. Kutupaikan valintakokeen tuloksista on päätelty myös, että kutualustoista kannattaa tehdä pieniä, halkaisijaltaan vain muutamametrin olevia, koska keskiosat laajasta soraikosta näyttävät jäävän ilman käyttäjiä (Tähtinen ja Yrjänä, julkaisematon aineisto).

Keinotekoisten kutualustojen seurannan tuloksia on esitelty toisaalla tässä julkaisussa (luku 7, Pekkala ja Pekkala 1994).

5.6 Yhteenveto

Entisten uittoväylien kunnostus (entisöinti) on alkanut Iijoella vuonna 1988. Työ jatkuu noin vuoteen 2000 saakka. Keskeinen osa työtä on perattujen koskien uudelleen rakentaminen. Perkauksissa koskista on tullut rakenteeltaan ja virtausoloiltaan yksipuolisia "rännejä", joissa on elinalueita vain harvoille eliölajeille. Kunnostuksessa keskeinen periaate on monimuotoisuuden lisääminen. Uoman leveysvaihtelu lisääntyy, kun perkauksissa tehtyjä penkereitä puretaan ja kuivillaan olleet poukammat ja sivu-uomat palautetaan joen yhteyteen. Jokien suvanto-koski-vuorottelu tehostuu, kun koskista poistettua materiaalia palautetaan takaisin. Perattuun uomaan sijoitetaan purettavista penkereistä saatavaa erikokoista kivimateriaalia. Tästä materiaalista muovataan uomaan kynnyksiä, suisteita, kiviryhmiä, pikkukivisiä särkkiä jne. Kunnostusrakenteet monipuolistavat virtausoloja ja tarjoavat virran eliöille kiinnittymis- ja suojapaikkoja. Viimeaikaiset seurannat ovat antaneet viitteitä siitä, että tulevaisuudessa on kiinnitettävä enemmän huomiota arvokalojen pienimpien poikasten elinalueiden parantamiseen.

Perkaus on vähentänyt virtakaloille soveliaita kutualueita. Kutualueita voidaan lisätä siirtämällä penkereistä luonnonsoraa virran lajiteltavaksi tai tuomalla sopiville kutualueille valmiiksi seulottua soraa. Ijoen alueen kunnostustöiden yhteydessä on selvitelty taimenen kutupaikkavaatimuksia.

Ainakin uittosäännön kumoamiseen liittyvissä virtavesien kunnostuksissa pyrkimyksenä on luonnontilan jonkin asteinen palauttamien. Siten töissä on huomioitava muutkin vesieliöt kuin kalastuksen kohteena olevat kalat. Pohjasammaleella on tärkeä merkitys virtavesien eliöyhteisölle. Uudelle kivipinnalle sammal kehittyy hitaasti, joten kunnostettavaan koskeen kannattaa jättää koskemattomia, sammalpeitteisiä pohja-alueita sammalen leviämiskeskuksiksi.

Jokihelmisimpukka ja rapu hyötyvät peratun joen kunnostamisesta, mutta ovat herkkiä vesirakentamistöiden vaikutuksille, joten niiden elinalueilla kunnostustöissä täytyy käyttää erityisen hienovaraisia menetelmiä.

KIRJALLISUUS

- Alabaster ja Lloyd, 1982: Water Quality Criteria for Freshwater Fishes. London. 361 s.
- Brookes, A. 1988: Channelized rivers. Perspectives for environmental management. John Wiley & Sons. London. 326 s.
- Gore, J.A. 1985: Mechanisms for colonization and habitat enhancement for benthic macroinvertebrates in restored river channels. in Gore, J.A. (Ed.): The restoration of streams and rivers 103–164. Butterworth. Stoneham.
- Greenberg, L., Svensson, P. ja Harby, A. 1994: Availability of microhabitats and their use by brown trout (*Salmo trutta*) and grayling (*Thymallus thymallus*) in the River Vojmån, Sweden. Proceedings of the first international symposium of habitat hydraulics 606–624. The Norwegian institutet of technology. Trondheim.
- Heggenes, J. 1994: Physical habitat selection by brown trout (*Salmo trutta*) and young atlantic salmon (*S.salar*) in spatially and temporally heterogeneous streams. implications for hydraulic modelling. Proceedings of the first international symposium of habitat hydraulics 12–30. The Norwegian institutet of technology. Trondheim.
- Huusko, A. ja Yrjänä, T: 1994: Evaluating habitat restoration of rivers channelized for log transport: a case study of the Kutinjoki river, Northern Finland. Käsikirjoitus. 5 s.
- Jokikokko, E. 1987: Taimenmäärät Suomussalmen Piispa- ja Mustajoen kunnostetuissa koskissa vuosina 1978–1985. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 71: 133–166.
- Jutila, E., Karttunen, V. and Niemitalo, V. 1994: Eriäisten kunnostusmenetelmien vaikutus taimenen poikasmääriin Iijoen sivuvesien koskissa. Käsikirjoitus. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Helsinki. 24 p.
- Järvisalo, O., Heikkilä, T. and Kärkkäinen, P. 1984: Järvitaimenen kutu ympäristö kunnostetussa Äyskoskessa (in Finnish). Vesihallituksen monisteita 255. 18 p.
- Kuusela, K. 1979: Early summer ecology and community structure of the macrozoobenthos on stones in the Jäväjänkoski rapids on the river Lestijoki, Finland. Acta universitatis Ouluensis. Series A, Scientiae rerum naturalium No. 87, Biologica No.6. 123 s.
- Kännö, S. 1987: Kalakannan kehitys Rovaniemen maalaiskunnan Kuohunkijoessa koskien kunnostuksen jälkeen. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 71: 97–132
- Laasonen, P., Muotka, T., Tikkanen, P. and Kuusela, K. 1993: in Tuomisto, J and Ruuskanen, J. (Eds.): Proceedings. First Finnish Conference of Environmental Sciences. Kuopio University Publications C. Natural and Environmental Sciences 14: 151–154.
- Näslund, I. 1987: Effects of habitat improvement on the brown trout (*Salmo trutta* L.) population of a North Swedish River (English summary). Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm 1987 (3). 28 s.

- Pekkala, J. 1993: Iijoen sivuvesien uittoväylien entisöinti vuonna 1992. Tutkielma. Kurun normaali-metsäoppilaitos. 19 s.
- Swales, S. 1994: Habitat restoration methods – a synthesis. In Cowx, I. G. (ed): Rehabilitation of freshwater fisheries: 133–137. Blackwell Scientific Publications Ltd Oxford.
- Valovirta, I. 1990: Livojoen ja Loukusanjoen entisöintialueiden jokihelmisimpukkakannat ja niiden suojelu. Helsingin yliopisto, luonnontieteellinen keskusmuseo, Raakkuraportti 5. 36 s.
- Valovirta, I. 1993: Livojoen alajuoksun entisöintialueiden jokihelmisimpukkakan inventointi ja suojelutoimet 1992. Moniste. Helsingin yliopisto, eläinmuseo. 36 s.
- Wesche, T.A. 1985: Stream channel modifications and reclamation structures to enhance fish habitat. In Gore, J.A. (Ed.) 1985: The Restoration of Streams and rivers: 103–164. Butterworth. Stoneham.
- Westman, K. ja Nylund, W. 1985: Rapu ja Ravustus. Weilin & Göös. Espoo. 173 s.
- Yrjänä, T. 1990: Uittoväylien entisöintiin liittyvien koskien kunnostustöiden vesistövaikutusten tarkkailu vuonna 1989. Moniste. Oulun vesi- ja ympäristöpiiri. 29 s.

Eero Jutila

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

Vesa Karttunen

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

Vesa Niemitalo

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

Taivalkosken kalantutkimus ja vesiviiljely

6 TAIMENEN POIKASTEN ISTUTUSKOKEILUT ERI TAVOIN KUNNOSTETUISSA KOSKISSA

6.1 Johdanto

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos tutki yhteistyössä Oulun vesi- ja ympäristöpiirin kanssa eri kunnostusmenetelmien vaikutusta taimenen poikastuotantoon vuosina 1989–1992 Iijoen vesistön uittoa varten peratuissa sivujoissa. Oulun vesi- ja ympäristöpiiri vastasi kunnostusten toteutuksesta tutkimuskoskissa, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos istutuksista ja tutkimustoiminnasta. Tutkimuksia tehtiin yhteensä kuudessa Pärjänjoen koskessa, kolmessa Naamankajoen koskessa, kahdessa Kouvanjoen koskessa, yhdessä Livojoen koskessa ja neljässä Loukusanjoen koskessa. Seuraava esitys perustuu kokonaisuudessaan kyseisestä tutkimuksesta laadittuun raporttiin (Jutila, Karttunen ja Niemitalo 1994).

6.2 Koskikalasto

Sivujokien koskikalastoon kuului sähkökalastustulosten perusteella yhteensä kaksitoista kalalajia sekä nahkiainen. Lohikaloista koskista tavattiin yleisesti taimenta ja harjusta. Puronieriää esiintyi luontaisesti lisääntyvänä kantana yhdessä tutkimusjoessa. Haukea saatiin koskista vain satunnaisesti. Särkikaloista lähes kaikissa koskissa esiintyy yleisesti mutua ja satunnaisesti särkeä ja salakkaa. Tyypillisiin koskikaloihin kuuluvat lisäksi kivenuoliainen, made ja kivisimppu sekä eräissä koskissa kirjoeväsimppu. Ahventa esiintyy koskissa sähkökalastustulosten perusteella vain satunnaisesti.

Koskien perkaukset ja kunnostukset vaikuttavat eniten reviiirikalojen elinmahdollisuuksiin (mm. Honkasalo ja Jokikokko 1987). Tällaisten lajien poikaset ja kookkaamatkin yksilöt valtaavat kosken pohjalta ruokailu- ja elinalueen, jolta ne karkottavat varsinkin oman lajinsa samankokoiset yksilöt. Koskikalastosta tyypillisiä reviiirikaloja ovat lohikalat, kivenuoliainen ja simput. Näistä lajeista kivenuoliainen ja simput elävät koko elämänsä koskiympäristössä. Kosket ovat taimenen ja harjuksen kutu- ja poikastuotantoalueita. Kosket voivat olla myös kookkaampien kalojen elinympäristöjä ja syönnösalueita, joskin osa kaloista voi siirtyä syönnökselle myös suvantoihin ja järviin. Virtaavissa vesissä eläville mateille kosket ovat tärkeitä lisääntymisalueita. Koskissa niiden esiintyminen on reviiirikalan tyypistä, joskaan madetta ei varsinaisesti pidetä reviiirikalana. Muista lajeista varsinkin mutua suosii koski- ja virtaympäristöä,

mutta koskiympäristön laadulla ei ole niiden kannalta yhtä suurta merkitystä kuin varsinaisille reviiरिकaloille.

6.3 Taimenen istutuskokeilut eri tavoin kunnostetuissa koskissa

6.3.1 Koejärjestelyt

Iijoen sivujoilla tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin taimenen poikastuotannon potenti-aalia eri tavalla kunnostetuissa koskissa. Kunnostettuihin koskiin tehtiin keväällä ylitiheitä istutuksia vastakuoriutuneilla ja 1-vuotiailla taimenen poikasilla, ja taimenen poikastiheyksiä selvitettiin koskissa loppukesällä tehdyillä sähkökalastuksilla. Eri kunnostustyyppien välisiä eroja tarkasteltiin tilastollisilla laskentamenetelmillä. Erilaisista koskien kunnostusmahdollisuuksista olivat mukana seuraavat perustyyppit (Kuvat 9–15):

Kunnostustyyppi	Kuvaus
1. Kunnostamaton	Uomaa ei kunnostettu
2. Kynnys	Uoman poikki kulkeva kapea porrasmainen kiveys
3. Yksittäiskivi	Yksittäisiä kiviä suhteellisen harvassa ja tasaisesti; ei selvää kynnystä
4. Täyttö	Koski "täytetty" kivillä; kiviä useassa kerroksessa, osa irtonaisia
5. Pienpoikasalue /särkä	Pintavirran nopeus suhteellisen hidas; särkkämäinen matala kivikko, kivien läpimitta alle 10 cm

Tutkimuksessa oli lisäksi mukana näiden kunnostustyyppien yhdistelmiä. Useita eri kunnostustyyppiejä pyrittiin mahdollisuuksien mukaan sijoittamaan samaan koskeen tai ainakin samaan jokeen. Käytännössä tämä ei kuitenkaan ollut aina mahdollista. Koska joet maantieteellisesti ja muilta ominaisuuksiltaan olivat suhteellisen samankaltaisia, eri jokien ja vuosien tutkimustulokset yhdistettiin tulosten käsitte-lylvaiheessa kunnostustyyppin mukaan tilastollisen testattavuuden parantamiseksi.

6.3.2 Kesänvanhojen taimenten poikasten määrä

Alle yksivuotiaiden taimenten yksilömäärissä ja biomassassa ei todettu tilastollisia eroja kunnostamattomien ja eri tavoin kunnostettujen koskien koealojen välillä (Kruskal–Wallisin testi, 95% todennäköisyys). Syynä tähän pidetään sitä, että ensimmäisenä kesänään taimenen poikaset viihtyvät kosken matalilla ranta-alueilla, jollaisia on tarjolla suhteellisen paljon myös peratuissa koskissa. Myöskään eri kunnostustapo-
jen välillä ei aineiston perusteella voitu todeta merkitseviä eroja kesänvanhojen poikasten määrissä.

6.3.3 Yksivuotiaiden ja vanhempien taimenten poikasten määrä

Yksivuotiaita ja sitä vanhempia poikasia oli kunnostamattomien koskien koealoilla merkitsevästi vähemmän kuin kunnostettujen koskien koealoilla sekä yksilömäärinä että biomassana laskettuna (Kruskal–Wallisin testi, 95 % todennäköisyys). Samansuuntaisia tuloksia on saatu mm. Ruotsin joissa, missä perkaukset ovat heikentäneet eniten kookkaiden taimenen poikasten elinympäristöä ja kunnostukset ovat vastaavasti parantaneet eniten kookkaiden taimenten poikashabitaatteja koskissa (Honkasalo ja Jokikokko 1987).

Eri tavoin kunnostettujen koskien vertailussa (kuva 16) yksivuotiaiden ja sitä vanhempien taimenen poikasten esiintymistiheydet ja biomassat olivat tilastollisesti merkitsevästi suurempia "täyttö"-tyyppisissä koskissa kuin muulla tavoin kunnostetuissa koskissa. Yksilötiheyksien suhteen ja biomassan suhteen ero oli erittäin merkitsevä (U-testi, 99 % todennäköisyys).

Yksittäisten kunnostustyyppien ja niiden yhdistelmien lähempää vertailua varten yksivuotiaitten taimenten esiintymisen eroja tarkasteltiin lisäksi taimenten keskimääräisten yksilömäärien perusteella. Erilaisista "täyttö"-tyyppejä ja sen yhdistelmiä edustavista koskista yksivuotiaitten taimenten keskimääräiset yksilötiheydet olivat suurimpia "kynnys/täyttö"-tyypin koskissa (keskimäärin 23 yks./aari). Seuraavaksi eniten taimenia oli tyypeillä "täyttö" (keskimäärin 17 yks./aari) ja "yksittäiskivi/täyttö" (keskimäärin 16 yks./aari). Muilla kunnostustyypeillä yli yksivuotiaiden taimenten keskimääräiset yksilötiheydet jäivät alle 10 yksilöön aarilla.

Kokonaistuloksen kannalta "täyttö"-tyypeillä yksivuotiaiden taimenten yksilömäärät olivat selvästi korkeampia kuin muilla kunnostustyypeillä. Tämä sopii hyvin yhteen sen kanssa, että taimenen on todettu hakeutuvan suojaan ylhäältä tulevalta valolta mm. louhikkoisen kivimateriaalin sekaan ja kivien alle (Honkasalo ja Jokikokko 1987). "Täyttö"-tyyppiset kosket tarjoavat taimenille tällaisia elinpaikkoja eli mikrohabitaatteja ratkaisevasti enemmän kuin muulla tavoin kunnostetut kosket. Yksittäisistä kunnostustyypeistä "kynnys/täyttö"-tyypin kunnostuksella saatiin aikaan sekä keskimääräisesti että yksittäisistä tuloksista korkeimmat yksivuotiaitten taimenten yksilötiheydet. Tässä kunnostustyyppissä yhdistyvät "kynnys"-tyyppisille koskille ominainen virtausnopeuden ja syvyyden vaihtelu ja "täyttö"-tyyppisten koskien runsas suojapaikkojen määrä.

6.4 Muiden lajien esiintyminen koskissa

Kunnostamattomien ja kunnostettujen koskien vertailussa ei havaittu tilastollisia eroja useimpien koskissa esiintyvien kalalajien osalta. Tällaisia lajeja olivat harjus, kivennuoliainen, made ja puronieriä. Myöskään nahkiaisella tällaista eroa ei havaittu. Varminkin tämä päätelmä voitiin tehdä kivennuoliaisella, muita lajeja tavattiin kunnostamattomilta koealoilla vain satunnaisesti.

Sen sijaan simppuja ja mutuja tavattiin kunnostetuilta koealoilta sekä yksilömäärinä että biomassana laskien tilastollisesti merkitsevästi vähemmän kuin kunnostamattomilta (U-testi, 95 % todennäköisyys). Mudun osalta syytä eroon on vaikea selittää, koska muttu ei ole parvikalana kovinkaan riippuvainen koskihabitaattien laadusta. Mahdolli-

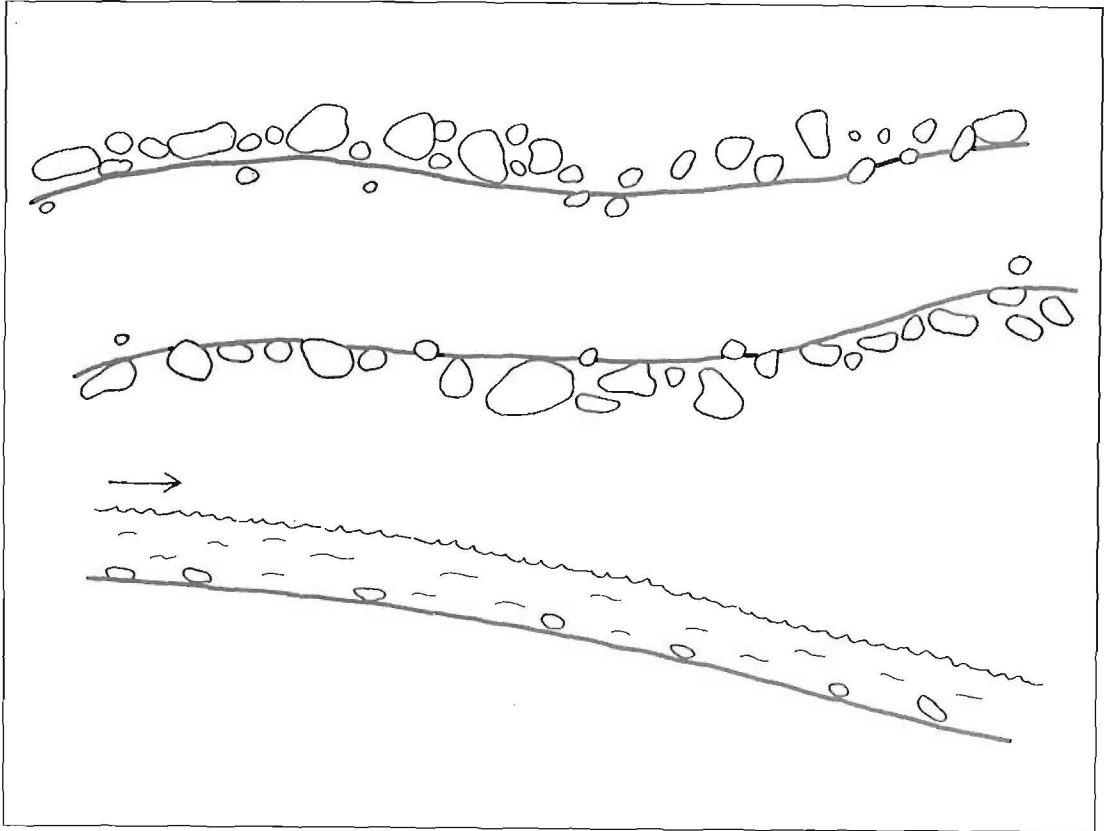
sina syinä voisivat lähinnä tulla kysymykseen ravintokilpailussa ja predaatiossa tapahtuneet muutokset. Simpuista ilmeisesti ainakin osa poistuu koskesta kunnostustöiden aiheuttamien häiriöiden takia, ja palautumiseen saattaa mennä aikaa useita vuosia.

6.5 Suositukset

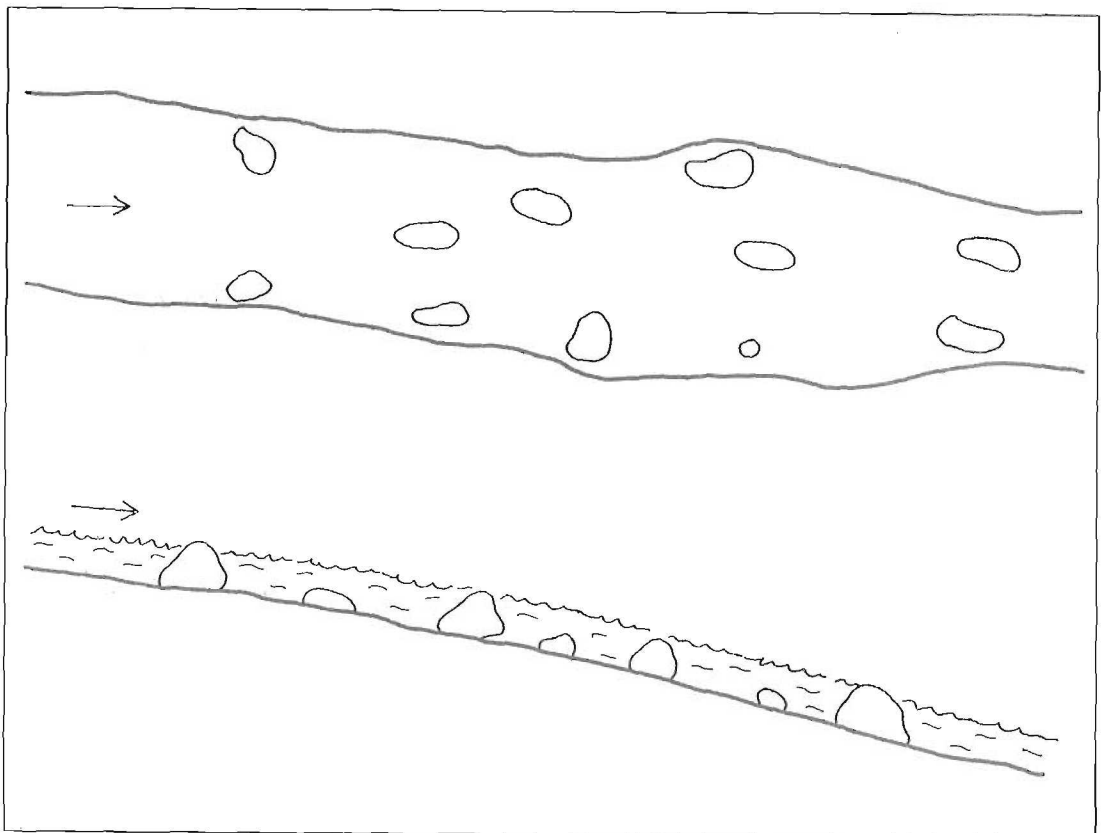
Tulosten perusteella suositellaan, että taimenen poikasaluiden kunnostuksissa mahdollisimman suuri osa koskesta poistetuista kivistä palautetaan takaisin koskeen. Kiviä tulisi olla pohjalla useassa kerroksessa, osa irtonaisina. Veden virtausnopeuden ja syvyyden vaihtelua tulisi lisätä muodostamalla koskeen kynnysmäisiä rakenteita. Muiden tutkimusten yhteydessä on todettu, että kunnostuksessa on suositeltavaa välttää sammalpeitteisten kivien turhaa liikuttelua, jotta taimenille suojaa ja ravintoa tarjoava koskisammalisto ei vahingoittuisi.

Kunnostuksen avulla tulisi mahdollistaa myös kookkaiden kalojen oleskelu ja kutu koskissa. Kookkaiden kalojen oleskelupaikkoja voidaan saada lisää mm. kynnysten, lohcareiden ja syvänteiden avulla. Jos kosken luontaiset kutupohjat ovat tuhoutuneet, kutualueiden riittävyys voidaan varmistaa rakentamalla koskeen kutupohjia. Kunnostuksella voidaan parantaa myös koskien kalastusmahdollisuuksia mm. rantapolkuja raivaamalla.

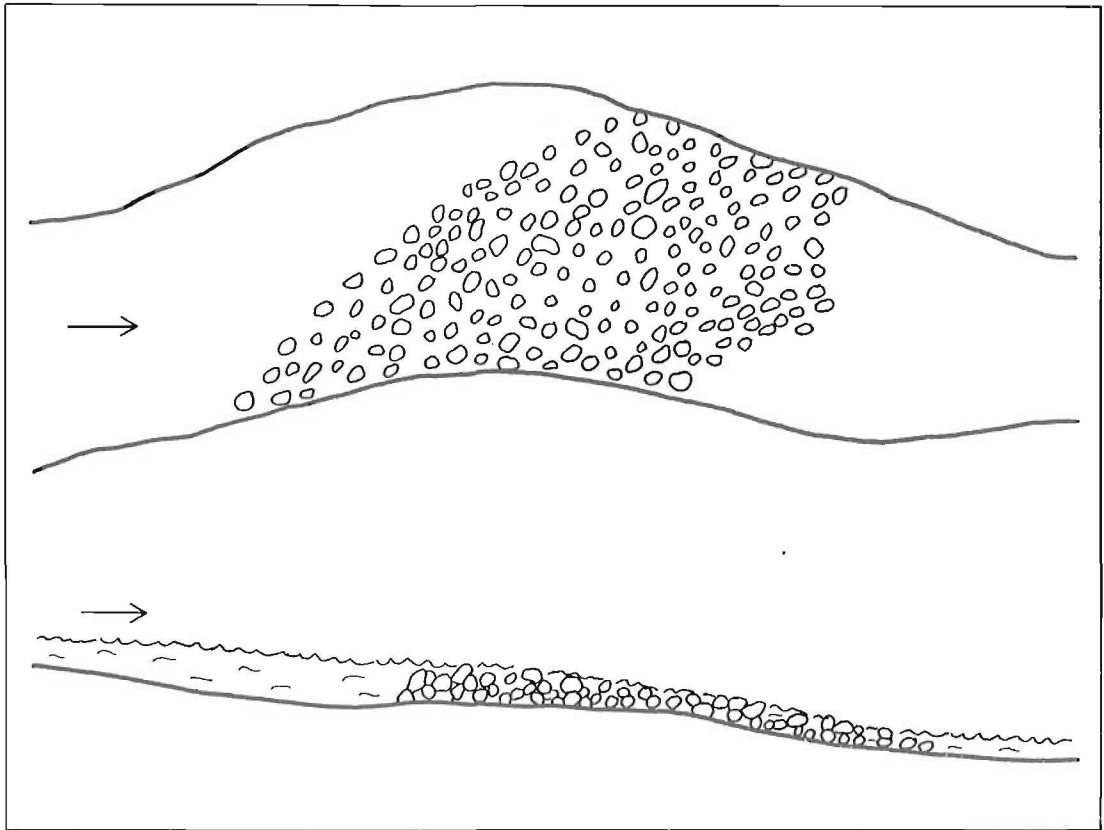
Kunnostuksessa tulisi välttää kaavamaisia ratkaisuja. Kunnostuksen tavoittena tulisi olla biologisesti ja maisemallisesti monimuotoisen ja toimivan koski- ja rantabiotoopin palauttaminen. Kunnostuksen yksityiskohdat tulisi ratkaista koskikohtaisesti lähinnä kosken luontaisten ominaisuuksien perusteella.



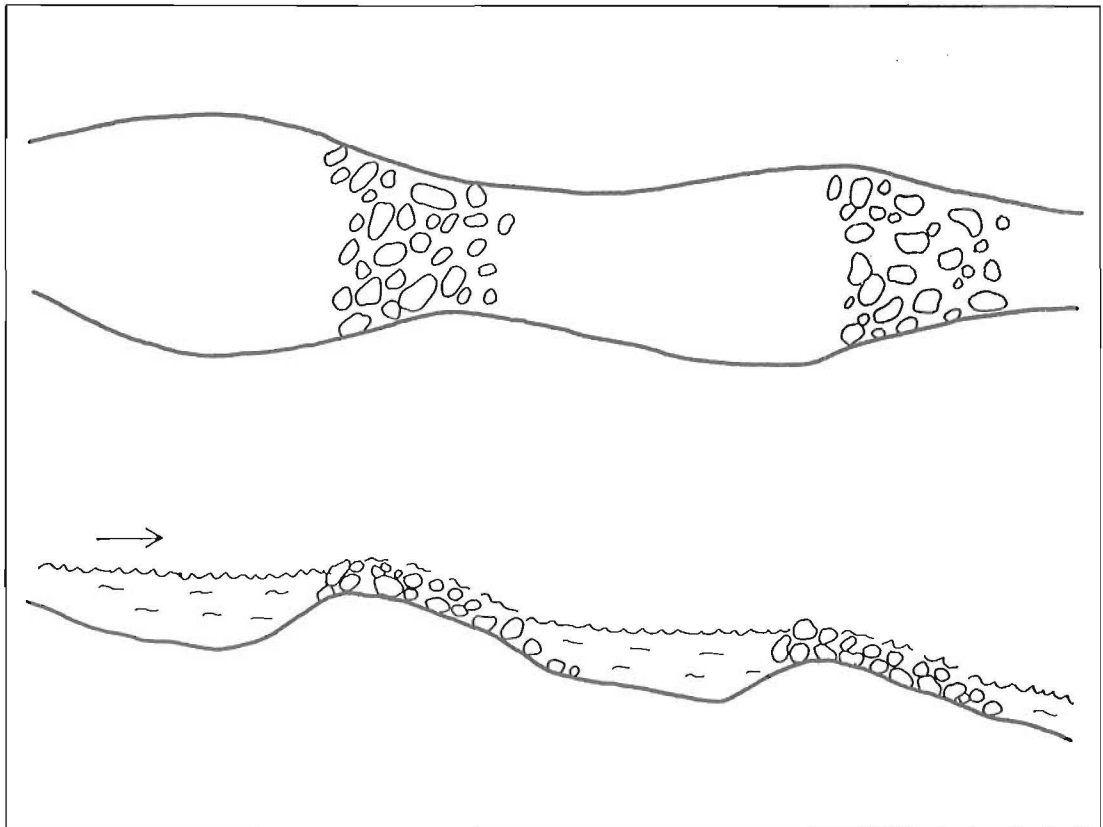
Kuva 9. Kunnostamaton koski



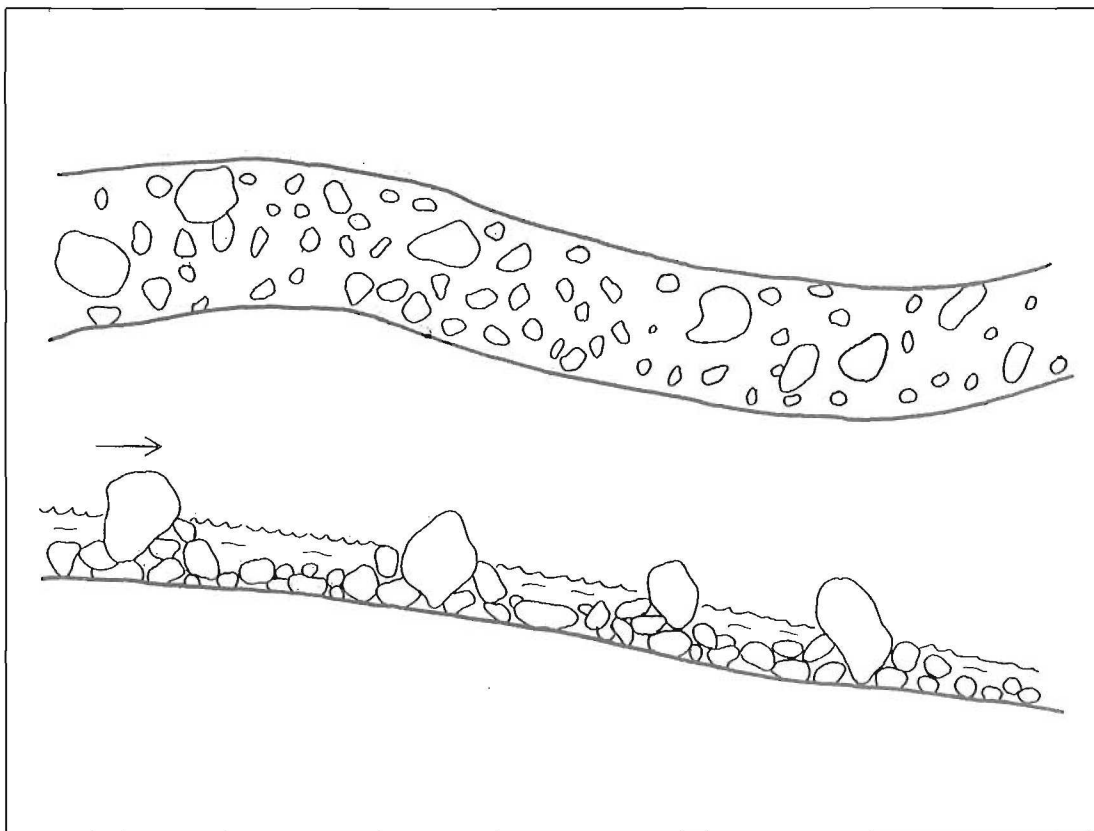
Kuva 10. "Yksittäiskivi"-tyyppinen kunnostus



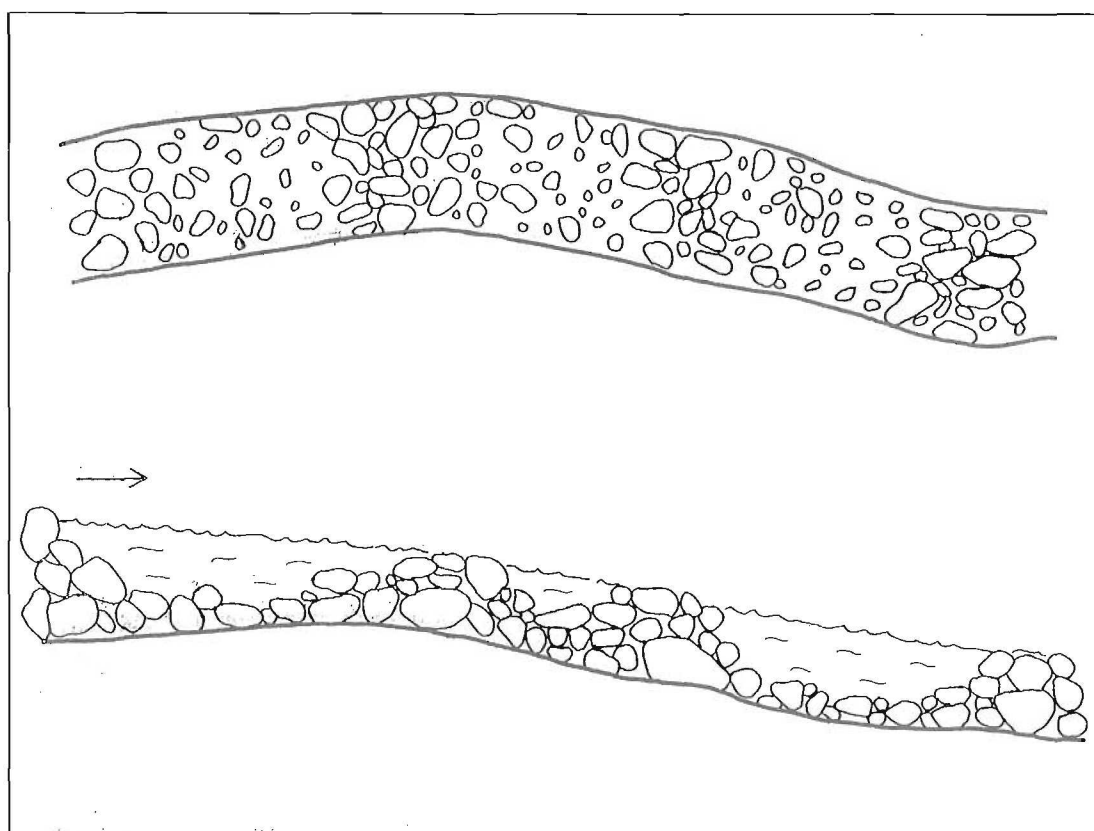
Kuva 11. "Pienpoikasalue/Särkkä"-tyyppinen kunnostus



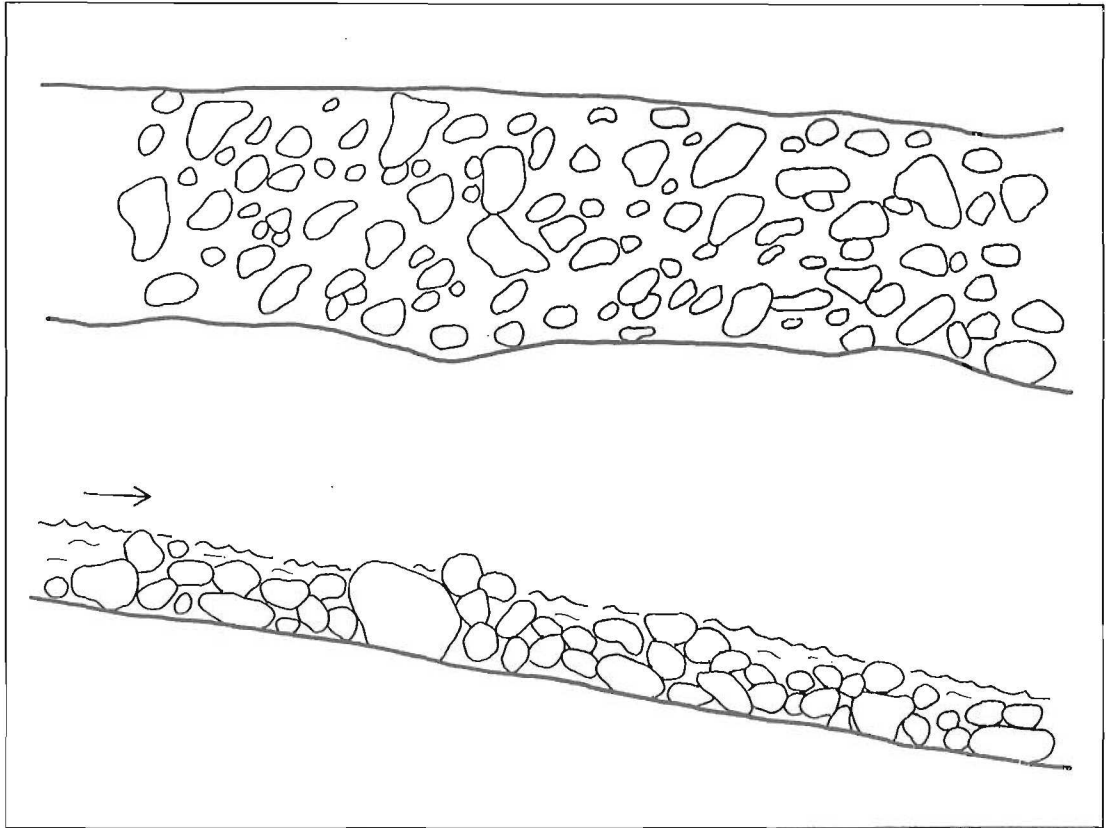
Kuva 12. "Kynnys"-tyyppinen kunnostus



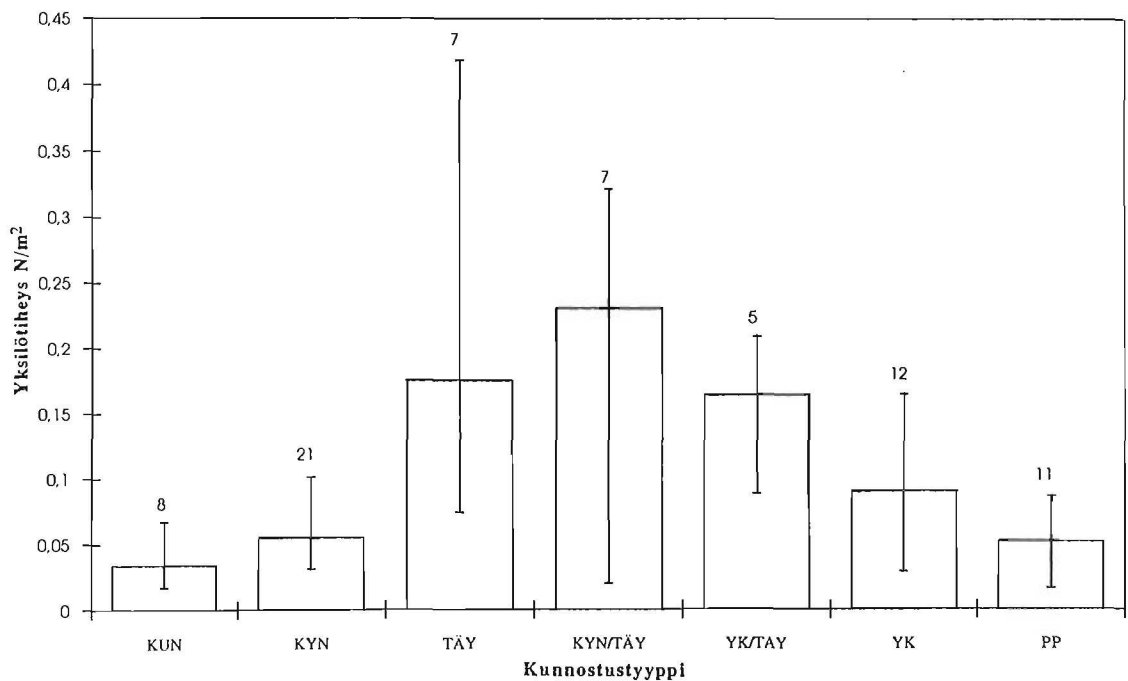
Kuva 13. "Yksittäiskivi/Täyttö"-tyyppinen kunnostus



Kuva 14. "Kynnys/Täyttö"-tyyppinen kunnostus



Kuva 15. "Täyttö"-tyyppinen kunnostus



Kuva 16. Yksivuotiaiden ja sitä vanhempien taimenten yksilömäärät neliometrillä eri tavoin kunnostetuissa koskissa. Pystyjanat pylväiden kohdalla ilmoittavat koealakohtaisten tiheyksien ala- ja yläkvartiilit (75 % havaintojen kokonaismäärästä). Numerot pylväiden kohdalla ilmoittavat havaintojen yhteismäärän kullakin kunnostustyyppillä. Symbolit: Kun = kunnostamaton; Kyn = kynns; Täy = täyttö; Kyn/Täy = kynns/täyttö; Yk/Täy = yksittäiskivi/täyttö; Yk = yksittäiskivi; Pp = pienpoikasalue.

KIRJALLISUUS

- Honkasalo, L. ja Jokikokko, E. 1987. Uittoperkaukset ja perattujen jokien kunnostus kalatalouden kannalta. Kirjallisuuskatsaus. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Kalantutkimusosasto. Monistettuja julkaisuja 71:1-45. Helsinki.
- Jutila, E., Karttunen, V. ja Niemitalo, V. 1994. Erilaisten kunnostusmenetelmien vaikutus taimenen poikasmääriin lijoen sivujokien koskissa. Käsikirjoitus 24 s. + liitteitä. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Helsinki.

Jukka Pekkala

Oulun vesi- ja ympäristöpiiri

Seija Pekkala

Peltosalmen maaseutuoppilaitos

7 KUTUSORAIKKOKOKEILUT

7.1 Johdanto

Tehtäessä virtavesikalaille keinotekoisia kutupaikkoja ongelmaksi voi muodostua soraikkojen pysyminen kutukelpoisina. Soraikot saattavat lähteä liikkeelle kevätulvan aikana ja kulkeutua suvantoihin. Toisaalta soraikot voivat varsinkin hidasvirtaisilla alueilla peittyä lietteeseen, eivätkä enää sovellu kutupaikaksi.

7.2 Kokeilualue

Vuosina 1990 –1991 tehtiin Iijoen sivuvesillä 50 kpl keinotekoisia kutupaikkoja, joihin käytettiin seulottua raekooltaan 8 – 45 mm:stä (ka 20 – 25 mm) soraa noin 1800 m³. Soraikot sijoiteltiin etupäässä taimenen kutupaikkavaatimuksia ajatellen.

Soraikkojen paikallaanpysymistä ennakoitiin seuraavasti:

- Kutupaikka sijoitettiin kosken niskalle tai yläosalle.
- Samalle koskelle tuotu sora sijoitettiin useampaan erityyppiseen paikkaan.
- Massan vaihdolla soraikon pinta saatiin luonnollisen pohjan korkeudelle.
- Soraikko sijoitettiin kynnyksen tai pohjakohouman yläpuolelle.
- Soraikko sijoitettiin sisäkaarten puoleisen rannan tuntumaan.
- Soraikon päälle aseteltiin suojakiviä.

7.3 Kutupaikkojen tarkastus

Kutupaikat tarkastettiin kahden kevätulvan jälkeen kesällä 1993. Tarkastuksessa kiinnitettiin huomiota soran pysymiseen levityspaikalla, soran kulkeutumiseen, uudelleen kasautumiseen ja hienon aineksen sedimentoitumiseen.

Kutupaikoilta mitattiin paikallaanolevan soraikon keskimääräinen paksuus ja pinta-ala. Myös virrannopeus ja veden syvyys mitattiin. Soran levityspaikat luonnehdittiin silmävaraisesti ja ne valokuvattiin niiden keskinäisen vertailun helpottamiseksi. Soran kulkeutuminen arvioitiin n. 500 m:n matkalta alavirtaan levityspaikasta.

7.3.1 Soran pysyminen levityspaikalla

Tarkastetuilla kutupaikoilla sorasta yli 75% oli pysynyt paikallaan 15:llä kohteella. 23:lla kohteella sorasta oli jäljellä alle 25%, näistä 14:ltä kohteelta sora oli hävinnyt kokonaan. (Taulukko 2.)

Jokikohtaisesti tarkasteltuna sora oli pysynyt parhaiten paikallaan Kouvanjoella ja Naamankajoella. Molemmat em. joet ovat virtaamaltaan selvästi pienempiä verrattuna Livo- ja Pärjänjokeen.

Virrannopeus soran levityspaikoilla vaihteli välillä 0,1 - 1,0 m/s. Niillä levityspaikoilla, joilla sora oli pysynyt paikallaan oli keskimäärin pienempi virrannopeus (ka. 0,42 m/s) kuin paikoilla, joista sora oli hävinnyt (ka. 0,67 m/s). Tässä soraikot on tarkastettu vähän veden aikana ja käytettävissä ei ole tietoja virrannopeuksista tulva-aikana, millä lienee suurempi merkitys soran liikkumiseen.

Taulukko 2. Levitetyn soran pysyminen kutupaikalla

Joki	Kutu- paikkoja kpl	100- 75 %	74- 50 %	49- 25 %	24- 0 %
Kouvanjoki	7	4	1	1	1
Livojoki	5	-	-	2	3
Naamankajoki	16	8	3	-	5
Pärjänjoki	19	3	2	-	14
Yhteensä	47	15	6	3	23

Veden keskisyvyys levityspaikoilla vaihteli 0,3 metristä 1,1 metriin. Mittaustuloksista ei havaittu eroja paikallaan pysyneiden ja hävinneiden soraikoiden välillä.

Kutupaikkojen teon yhteydessä massan vaihdolla pyrittiin saamaan soraikon yläpinta luonnollisen pohjan korkeudelle. Massanvaihto ei näyttänyt edistävän soran paikallaanpysymistä. Myöskään koskessa olevissa luonnonsyvänteissä sora ei pysynyt.

Yksittäisillä pienillä suojakivillä ei ollut merkitystä soran paikallaan pysymisen kannalta. Jos kivet olivat matalassa vedenalaisessa suisteenomaisessa muodostelmassa ne näyttivät estävän soran liikkeellelähtöä. Suurten vedenpinnan yläpuolelle ylettyvien yksittäistenkin lohkareiden suojassa sora oli pysynyt.

Kohteet, joissa sorasta yli puolet oli pysynyt paikallaan olivat tyypiltään järven luusuoita, leveitä ja loivia kosken niskoja tai nivamaisia hiljaa virtaavia jokiosuuksia. Soraikot olivat säilyneet myöskin kosken keskiosilla, jos joessa oli tälläkohtaa selvästi leveämpi paikka.

Sora oli lähtenyt liikkeelle tasaleveiden jyrkkien koskien niskalta, vaikka itse soraikko olisikin ollut hidasvirtaisella alueella. Tasaleveiden suorien koskien keskiosilla sora ei näytä pysyvän suurienkaan kynnysten ylä- eikä alapuolella. Erityisen herkästi sora lähtee liikkeelle rakennettujen pohjakohoumien yhteydestä.

7.3.2 Soran kulkeutuminen

Kulkeutuneesta sorasta oli syntynyt suuriksi luokiteltuja kasaumia yhteensä 20 kpl. Näistä 11 kpl oli yli 10 m³:n suuruisia. Kulkeutumismatka näissä vaihteli 50 –150 m.

Sora oli kulkiessaan lajittunut ja usein pysähtynyt luonnonsorakon päälle tai sekoittunut luonnonsoraan. Pysähtymispaikat olivat yleensä kosken keski- tai alaosassa sisäkaarteiden jälkeen. Laimut ja yksittäiset kivet löytyivät enimmäkseen rannan suojasta.

Tyypillisimmillään sora oli pysähtynyt joessa olevan mutkan jälkeen sisäkaarteiden puolelle. Loivarantaisissa paikoissa sora oli usein maalla tai matalassa vedessä, mutta missä oli jyrkät lähes pystysuorat törmät, sora oli kasautunut vesialueelle. Paikoissa, missä sora oli pysähtynyt kosken keskiosalle, oli joessa selvä levennys. Kosken alapäässä kasautumia oli myös voimakkaassa virrassa (> 1m/s).

Koskista etsittiin valokuvien avulla yhteisiä rakenteellisia tekijöitä soran kulkeutumisyyden selvittämiseksi. Kuvista ja asemakartoille (1:1000) piirretyistä soran levityspaikoista ja kasautumispaikoista voitiin havaita, että yleensä paikoissa missä soraa oli, joessa oli selvästi leveämpi paikka.

7.3.3 Hienon aineksen kertyminen

Levityspaikallaan kokonaan tai osittain olevien sorakoiden pinnalla oli hiekkaa kaikilla joilla levityspaikan virrannopeudesta riippumatta, joillakin levityspaikoilla myös soran seassa. Naamangan- ja Kouvanjoella soran pinnalla ja seassa oli myös paikoin paljonkin mutaa. Muta oli levityspaikoilla joilla virrannopeus oli pieni (0,3–0,4 m/s). Naamankajoen latvoilla havaittiin sorakoiden pinnalla runsaasti levää.

Kulkeutuneiden sorakoiden pinnalla oli mutaa vain yhdellä paikalla Pärjänjoen yläosalla ja samalla paikalla oli myöskin levää. Osassa kulkeutuneista sorakoista oli myös hiekkaa sekä seassa että pinnalla.

7.4 Keinotekoiset soraikot kutupaikkana kahden kevättulvan jälkeen

Tutkituille 47:lle kutupaikalle levitettiin rakentamisen yhteydessä vuonna 1991 yhteensä 1670 m³ soraa. Vuonna 1993 (kahden kevättulvan jälkeen) tehdyn arvion mukaan soraa löytyi alkuperäisiltä paikoilta n. 900 m³. Kulkeutunutta soraa arvioitiin löytyneen yhteensä 350 m³.

Alkuperäisistä kutupaikoista 30 kpl 47:stä oli taimenen kutupaikkavaatimukset täyttävässä kunnossa. 14:ltä paikalta ei löytynyt lainkaan soraa ja kolme soraikkoa oli peittynyt lietteeseen.

Kulkeutuneesta sorasta oli syntynyt suurehkoja kasaumia yhteensä 20 kpl. Näistä 13 kpl oli kutukelpoisia. Seitsemän kasaumaa oli syntynyt maalle tai niin matalaan ja tyyneen veteen, etteivät ne sovellu kutupaikaksi. Suurten kasaumien lisäksi 27:n

alkuperäisen kutupaikan alapuolelta löydettiin pienempiä soralaimuja, jotka lisäävät kutupaikkojen monimuotoisuutta.

Sora liikkuu koskissa todennäköisesti eniten kevättulvan aikana, mutta myös alkutalven hyytöilmiö saa aikaan kovia virtauksia normaalien väylien tukkeutuessa. Sora ei pysy eikä myöskään kasaannu liian voimakkaassa virrassa. Tässä tutkimuksessa havaittiin yhteisiä tekijöitä soran levityspaikkojen ja kulkeutumispaikkojen välillä, mutta tarkastelua vaikeuttaa se, että tulvan aikaisia virrannopeustietoja ei ole käytettävissä.

Soran kasautumissyitä pohdittaessa saatiin viitteitä siitä, että tulvan aikana voi esim. kosken alapäässä olla hidas virtaus, kun vastaavassa paikassa alivesiaikana on kova virtaus – tai päinvastoin. Tulvan aikana "kapeakurkkuinen" koski voi nostaa yläpuolisen suvannon vesipintaa enemmän, kuin edellinen "leveäkurkkuinen" koski, jolloin ylemmän kosken putouskorkeus pienenee.

7.5 Suositukset

Sora ei pysy tasaleveissä jyrkissä koskissa. Uittoväylien entisöinnin yhteydessä saadaan koskiin lisää leveysvaihtelua poistamalla uiton rakentamia penkereitä mahdollisimman paljon. Erityistä huomiota tulee kiinnittää soraisten penkereiden purkuun.

Kun kutupaikkoja tehdään muualta tuodusta sorasta, kannattaa sora sijoittaa useampaan muodostelmaan. Kevätulvaa voidaan käyttää harkiten apuna soran siirtämisessä ja lajittelemisessa sopiviin paikkoihin. Levityspaikan alapuolella tulee koskessa olla selvästi leveämpi paikka tai mutka. Jos mutkan jälkeen sisäkaarten puoleinen rantatörmä on loiva, on sora vaarassa kasautua maalle.

Olli Seppänen

Oulun vesi- ja ympäristöpiiri

8 KYSELY PAIKALLISTEN ASUKKAIDEN, MÖKKILÄISTEN JA VIRKISTYSKALASTAJIEN SUHTAUTUMISESTA KUNNOSTUKSIIN

8.1 Kyselyn suoritus

Aineisto hankittiin maaliskuussa 1992 postitse lähetetyllä kyselykaavakkeella, jonka haastateltavat täyttivät omatoimisesti ilman haastattelijan ohjausta. Kohderyhmäksi valittiin kaikki Pärjänjoen virkistyskalastusalueella vuonna 1991 kalastusluvan lunastaneet, osa Pärjänjoki- ja Kouvanjokivarsien vakituisista asukkaista sekä alueella vapaa-ajan asunnon omistavat. Virkistyskalastajien nimet ja osoitteet saatiin metsähallituksen lupakannoista ja kiinteistönomistajien yhteystiedot löytyivät Kiinteistörekisteristä.

Kyselykaavakkeita lähetettiin kaikkiaan 311 kpl, joista muuttuneiden tai virheellisten osoitetietojen takia posti palautti 12 kpl. Suurin osa vastaajista palautti lomakkeen toivottuun määräaikaan (10.4.1992) mennessä. Niille haastateltaville, joilta vastausta ei saatu, lähetettiin karhukirje ja uusi vastauslomake. Tämän yhden karhukierroksen jälkeen palautettuja lomakkeita oli 210 kpl, joten vastausprosentti oli 70,2 %, jota voidaan pitää kohtuullisen hyvänä tuloksena.

Selvityksen kohdealueeksi valittiin vuosina 1988–89 kunnostettu Pärjänjoki, jossa sijaitseva metsähallituksen virkistyskalastusalue takasi riittävän suuren vastaajamäärän. Lisäksi jokivarren ympärivuotinen asutus on keskittynyt selkeiksi kyläyhteisöiksi, joiden lähistöllä ei juurikaan ole muita kalastukseen soveltuvia vesistöjä. Kouvanjoella vuonna 1989 toteutetut kunnostustoimenpiteet ovat olleet joen kokoon nähden huomattavan massiivisia, joten se toimi hyvänä vertailukohteena Pärjänjoelle, joka on entisöity Kouvanjokeen verrattuna kevyesti.

8.2 Keskeiset tulokset

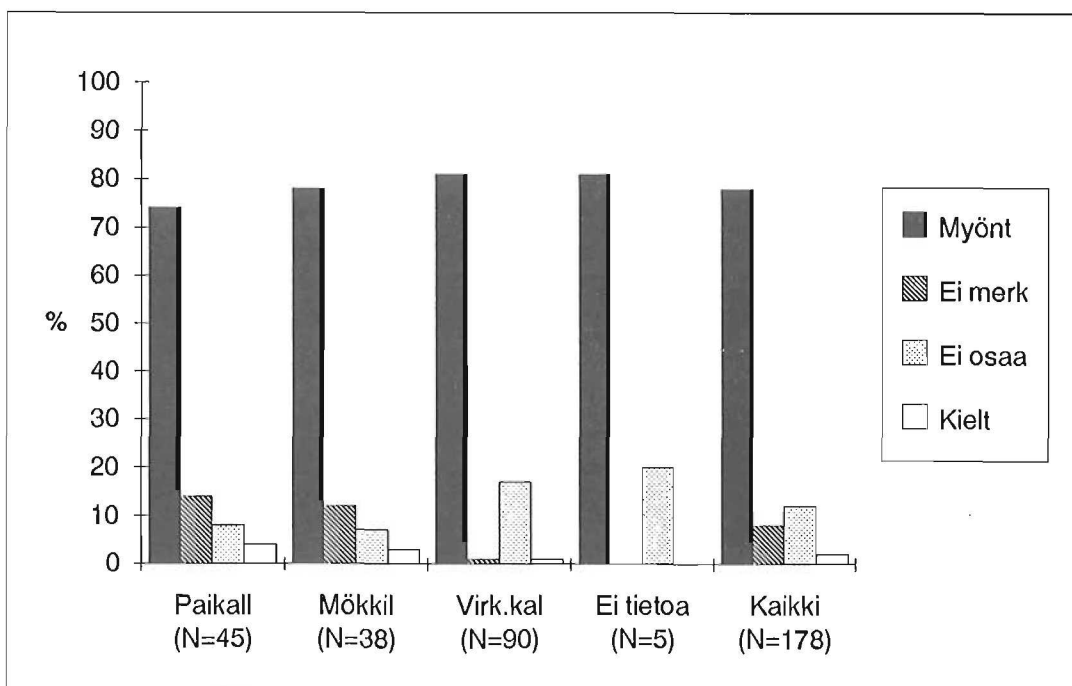
Jokien entisöinnin yhteydessä tehdyt kunnostustyöt ja niiden vaikutukset vastaajien enemmistö (72 %) koki myönteisinä. Varsinkin virkistyslupakalastajat olivat lähes yksimielisesti tätä mieltä. Tosin 18%:a heistä ei osannut vastata kysymykseen, koska vieraili alueella ensimmäistä kertaa, eikä näin ollen tiennyt minkälainen joki oli ennen kunnostusta. Paikallisten asukkaiden ja mökkiläisten joukossa oli ryhmä, jonka mielestä tehdyt toimenpiteet ovat joko merkityksettömiä (12 %) tai peräti kielteisiä (5 %). (Kuva 17.).

Erikseen esitettyjä puutteita olivat koskien liian vähäinen kiveäminen, "monttujen" puuttuminen koskista, kynnyksien liian vähäinen määrä ym. Näitä esittäneet vastaajat toivoisivat massiivisempia kunnostustoimenpiteitä käyttöön. Kuitenkin kysyttäessä erityisen veneväylän tarpeellisuutta, varsinkin paikalliset asukkaat (60%) pitivät väylää tarpeellisenä. Virkistyslupakalastajista suuri ja mökkiläisistä niukka enemmistö ei

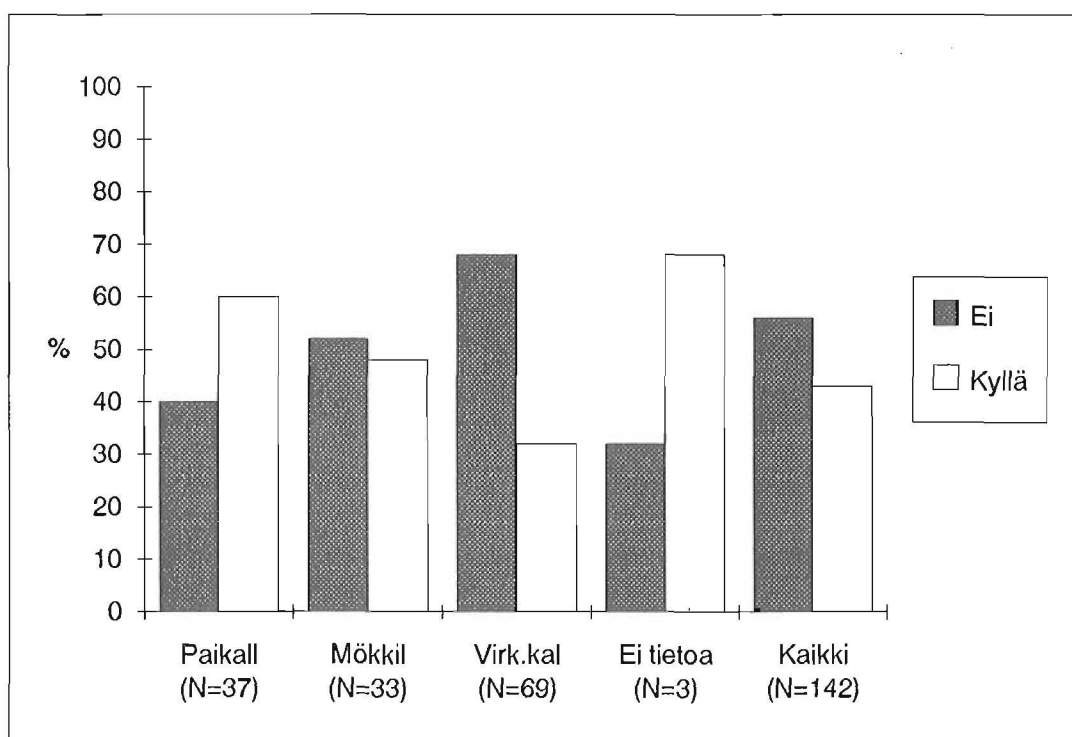
nähty veneväylää tarpeellisenä. (Kuva 18.)

Kalataloudellisesti ajatellen veneväylän rakentaminen on hankala asia, koska erityisesti alivesikausina valtaosa vedestä kulkee väylää pitkin ja suuri osa kalojen elinalueesta ja suojapaikoista jää kuiville. Kompromissina voitaisiin pitää, että veneväylä jätetään sellaisiin koskiin, joissa veneily on ollut erityisen vilkasta ja joki tai sen osa yhdistää kaksi järveä, joiden välillä alueen asukkaat ovat tottuneet liikkumaan.

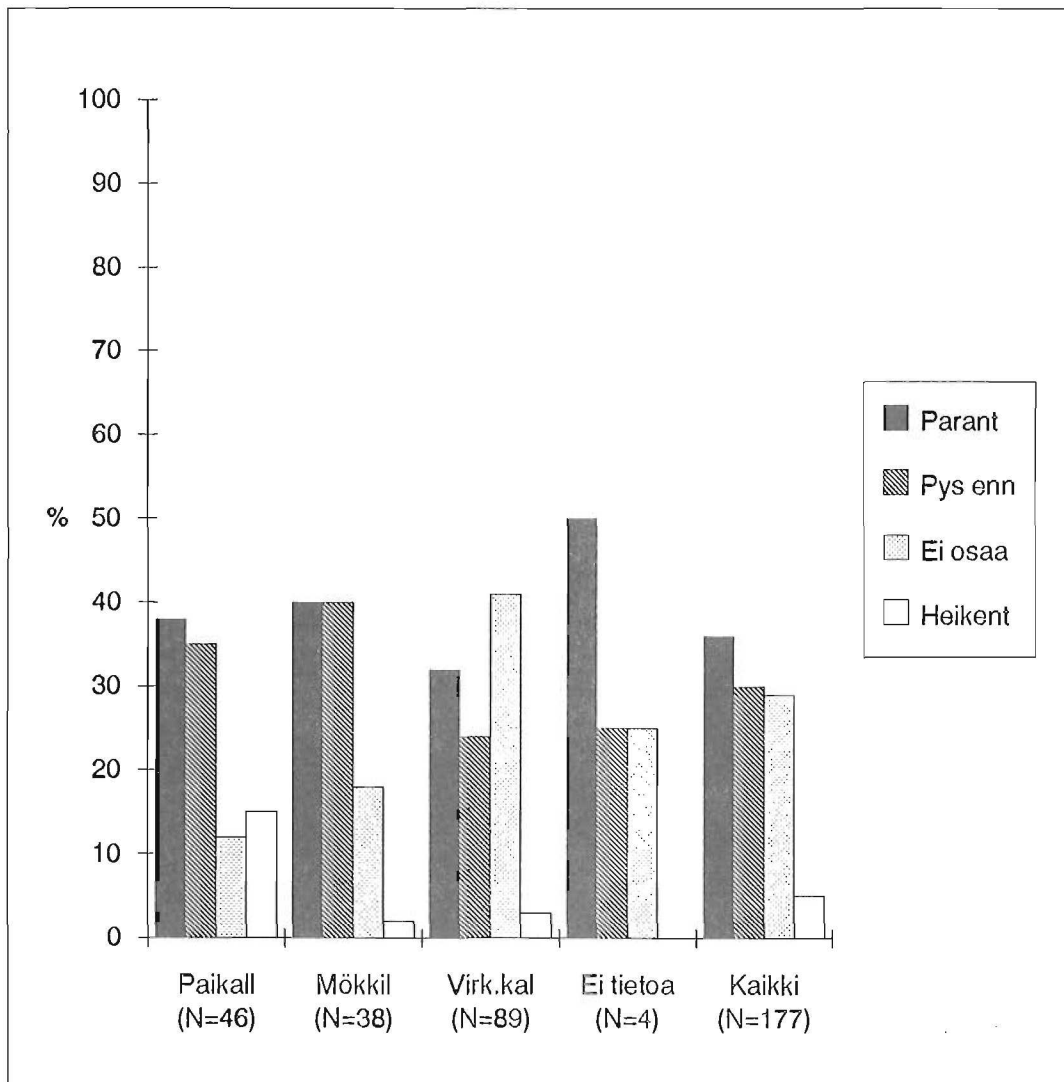
Kunnostustöiden vaikutukset yleiseen virkistyskäyttöön koettiin eri vastaajaryhmissä hyvin eri tavalla (Kuva 19). Virkistyslupakalastajista suurin osa ei osannut antaa kysymykseen mitään vastausta, koska eivät tunteneet tilannetta ennen kunnostusta. Vastanneista enemmistö katsoi tilanteen parantuneen, mutta lähes yhtä suuri joukko ei nähnyt töillä olleen mitään vaikutusta virkistyskäyttöön. Paikallisista asukkaista lähes yhtä suuret joukot olivat parantumisen ja ennallaan pysymisen kannalla. Samalla tavoin jakaantuivat mökkiläisten vastaukset, mutta heidän joukossaan ei ollut yhtä paljon, kuin paikallisissa asukkaissa niitä, jotka katsoivat tilanteen heikentyneen (15%). Syyt virkistyskäyttömahdollisuuksien heikkenemiseen löytyivät vaikeutuneista veneilyoloista, koska ainakin Kouvanjoella veneellä liikkuminen eräissä koskissa on mahdotonta korkeankin veden aikana.



Kuva 17. Vastaajien kokemukset tehdyistä kunnostustöistä. (N = 178). Symbolit: Paikall = paikalliset asukkaat; Mökkil = kesäasunnon omistavat; Virk.kal = virkistyskalastajat; Ei tietoa = ryhmää ilmoittamattomat; Kaikki = ryhmät yhteensä; Myönt = myönteinen kokemus; Ei merk = ei merkitystä; Ei osaa = ei osaa sanoa; Kielt = kielteinen kokemus



Kuva 18. Olisiko joessa oltava selvempi veneväylä? (N = 142) Symbolit: samoin kuin kuvassa 17.



Kuva 19. Kunnostustöiden vaikutukset yleiseen virkistyskäyttöön. (N = 177). Symbolit: Parant = parantanut; Pys enn = pysynyt ennallaan; Ei osaa = ei osaa sanoa; Heikent = heikentänyt

Ari Huusko

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos,
Kainuun kalantutkimus ja vesiviljely

Pekka Korhonen

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos,
Kainuun kalantutkimus ja vesiviljely

9 ELINympÄRISTÖMALLIN SOVELTUVUUS UITTOVÄYLIEN KUNNOSTUSTEN ARVIOIMISEEN JA KEHITTÄMISEEN

9.1 Johdanto

Suomessa tehdyissä virtavesiin kohdistuneissa hankkeissa on useimmiten ollut kyse isoissa joissa voimalaitosrakentamisesta ja pienissä joissa ja puroissa uittoa varten tehdyistä perkauksista ja näiden jälkien korjailusta. Jokien ja purojen uittoperkaukset tehtiin pääasiassa 1950- ja 1960-luvuilla. 1980-luvulle tultaessa puunuitto on käytännössä loppunut ja monissa vesistöissä uittosäätö on purettu. Samassa yhteydessä on määrätty tehtäväksi perkausten vaikutuksia kompensoivia kunnostustoimia, jotka nykyään tehdään paljolti kalataloudelliselta pohjalta.

Yrjänän & Huuskon (1992) mukaan virtavesiä oli 1990-luvun alkuun mennessä kunnostettu uiton jäljiltä kaikkiaan noin sadassa eri hankkeessa yhteensä noin 500 koskichehtaaria. Yhdessä hankkeessa on parannettu keskimäärin vajaat viisi hehtaaria koskikalojen elinaluetta ja tehty noin 180 neliometriä kutualuetta. Eniten kunnostuksia on tehty Lapissa, Kainuussa ja Pohjanmaalla. Näillä alueilla on myös eniten uittoperkausten turmelemia pikkujokia. Elinympäristön parantamishankkeiden tuloksellisuutta on seurattu vain noin kolmanneksessa hankkeista. Julkaistuja tietoja on toistaiseksi vain muutamia.

Uittosäännön kumoamishankkeita on vireillä vielä runsaasti, yli 30 kpl vuoden 1991 tietojen perusteella (Yrjänä & Huusko 1992). Tästä lähivuosina työn alle tulevasta koskialasta noin 70 prosenttia on Iijoen vesistöalueella, jossa kunnostustöiden vuosikymmenen loppuun saakka ulottuva kustannusarvio on noin 25 miljoonaa markkaa. Uittosääntöjen kumoamiseen liittyvien entisöintien lisäksi maassamme on suunnitteilla noin 200 koskichehtaarille tehtävä kalataloudellinen kunnostus noin 250 kohteessa.

Kalataloudellinen kunnostustoiminta on maassamme siten vielä verraten nuorta eikä tällä hetkellä kunnostusten tuloksellisuudesta ole saatavilla kattavaa kuvaa. Pääpaino koskikunnostuksissa on ollut töiden toteuttamisen suunnittelussa ja itse työssä käytettävien menetelmien sopivuuden ja tehokkuuden kehittämisessä. Aiheesta on olemassa runsaasti erilaista kirjallisuutta. Kunnostuksissa muotoutuneen elinympäristön laadun ja aiottuun käyttötarkoitukseen soveltuvuuden arviointiin ja kalataloudelliseen hyödyntämiseen on sen sijaan kiinnitetty vähemmän huomiota. Arviointia vaikeuttaa kunnostusten monimuotoisuus ja olosuhteiden, kalaston yms. tekijöiden laaja kirjo eri osissa maata. Lisäksi kunnostuksiin ja sitä seuraaviin kunnostetun alueen hoito- ja kehittämistöihin tulevaa rahoitusta ei ole kyetty nivomaan yhdeksi kokonaisuudeksi, ja usein myös näiden eri vaiheen töiden sekä suunnittelijat että käytännön tekijät eivät yleensä ole samoja. Kunnostuksissa syntyneen elinympäris-

tön laadun ja hoitotöiden vaikutusten tehokkaan arvioinnin järjestämisen vajavuutta voidaan pitää yhtenä kunnostuksiin liittyvistä suurimmista puutteista. Kunnostustöihin jo käytetyn ja lähivuosikymmenenä käytettävän panostuksen (koko maassa suuruusluokaltaan 5 milj. mk vuodessa) tuottavuuden arvioimiseksi ja kunnostusmenetelmien kehittämiseksi tarvittaisiin huomattavasti nykyistä laajempaa kunnostusten analysointia.

Tässä kirjoituksessa esitellään ja pohditaan jokien kalabiologiseen arvioimiseen käytetyn elinympäristömallin soveltuvuutta uittoperattujen koskien kunnostusten arviointiin.

9.2 Koskikunnostusten arvioinnista

Joki toimii aina kokonaisuutena, jolloin toimivan ja mukautumiskykyisen systeemin säilyttämiseksi on huolehdittava siitä, että kunnostuksen jälkeen joesta löytyy sijaa mahdollisimman monelle sen alkuperäiselle eliölajille. Koska kaikkien eliöiden ympäristövaatimuksia ei voida ottaa kunnostuksessa huomioon, on monimuotoisen ympäristön tekeminen ainoa keino useimpien lajien elinmahdollisuuksien turvaamiseksi. Toistaiseksi tehdyissä kunnostuksissa painopiste on yleensä ollut lohikalojen poikasille tarjolla olevan suojan lisäämisessä, koska sen on katsottu olevan tärkeimmän poikasten menestymistä rajoittavan tekijän peratuissa uomissa. Kalan elinkaaren muiden vaiheiden vaatimusten aliarvioiminen on kuitenkin voinut osaltaan olla estämässä kalaston toivottua kehittymistä.

Kunnostusten onnistumista on useimmiten arvioitu kalojen, lähinnä taimenen populaatiotiheydessä, vaellusmahdollisuuksissa yms. tapahtuneiden muutosten perusteella ja/tai selvittämällä kunnostusalueella käyneiden kalastajien määrä ja saaliita ennen ja jälkeen kunnostuksen.

Perinteisenä ja varmana tapana elinympäristömuutosten vaikutusten arvioimiseksi on pidetty kalaston tilan seurantaa ennen ja jälkeen kunnostuksen. Tavallisesti tämä on tehty sähkökalastamalla kunnostettava koski. Kunnostuksen jälkeen tehtyjen istutusten onnistumista on niin ikään seurattu sähkökoekalastuksin. Kunnostusten onnistumista on arvioitu poikastiheyksien perusteella. Koska ennen kunnostusta alueella havaittu populaatiotiheys on yleensä perustunut luonnontuotantoon ja kunnostuksen jälkeinen populaatio on usein runsaan istutuksen seurausta, ei näiden vertailu kerro luotettavasti koko totuutta kunnostuksessa tapahtuneesta elinympäristön laadun kohenemisestä. Toki istukkaiden menestyminen koskessa kertoo elinympäristön soveltuvuudesta ko. lajin poikasille, mutta sitä, olisiko myös perattuun uomaan yhtäsuurella volyymilla tehdyillä istutuksilla saatu samaa luokkaa olevia tiheyksiä, ei yleensä ole arvioitu.

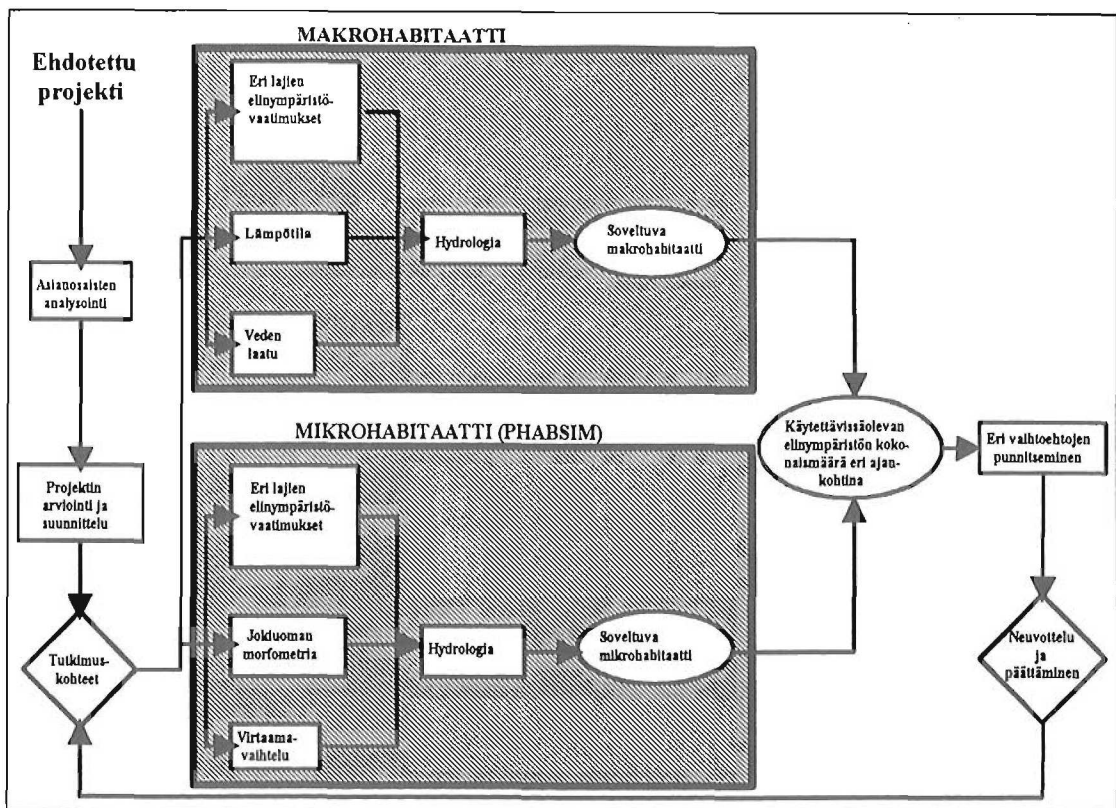
Tavanomaisen ennen ja jälkeen kunnostuksen tapahtuvan kalaston tilan seuraamisen rinnalle tarvitaan työvälineitä, joilla kunnostustoimenpiteiden tuloksia voidaan hyödyntää paremmin myös uusissa ja erilaisissa hankkeissa. Sopivia tällaisia työkaluja saattaisivat olla virtaavassa vedessä tapahtuneiden muutosten vaikutuksien kuvaamiseen ja arviointiin kehitetyt elinympäristömallit (habitaattimallit). Kunnostuksissa tehtävät muutokset näkyvät fysikaalisten tekijöiden (pohjanlaatu, virrannopeus, veden syvyys) muutoksina, joiden analysointiin elinympäristömallit ovat moderneja menetelmiä. Niiden avulla voidaan tietyn perusaineiston keräämisen ja sovittamisen jälkeen

arvioida elinympäristöä muuttavien tekijöiden vaikutuksia kalaston tai muiden eliöiden kannalta. Perinteisesti tällaisia malleja käytetään tilanteissa, joissa elinympäristön muutokset jokialueella tapahtuvat huonompaan suuntaan, mutta ne soveltuvat luonnollisesti myös parannustoimenpiteiden arviointiin.

9.3 Elinympäristömalli

Joissa elävien eliöiden elinympäristöä kuvaavista malleista käytetyin ja monipuolisin on alunperin Pohjois-Amerikassa kehitetty IFIM (Instream Flow Incremental Methodology), jota sovelletaan erilaisina muunnoksina nykyään myös Euroopassa. Itse asiassa IFIM on kokoelma useita eri tietokoneohjelmia ja analyttisiä menetelmiä, joiden avulla voidaan nivoa yhteen useita muuttujia (esim. hydrologia, veden lämpötila, veden laatu, sedimentin kulkeutuminen joessa, paikallistason virrannopeus, pohjanlaatu ja veden syvyys) kuvaamaan moniulotteista ekosysteemiä.

IFIM:in pääkomponentit ovat suunnittelu, aineiston kerääminen, analysointi sekä eri vaihtoehtojen arvioiminen (kuva 20). Olennaista IFIM-tutkimuksen suunnittelussa on saada selvyys kohdejoen virtaamatilanteesta lähtötilanteesta (ns. baseline), määrittää erityiset tutkimuskohteet ja hypoteesit ja valita tarkoitukseen sopivat menetelmät. Niiden tuottamat tulokset tulee olla tieteellisesti hyväksyttäviä, niiden avulla tulee voida arvioida elinympäristöön kohdistuvia muutoksia myös tulevaisuudessa (esim. kuivat ja sateiset ajanjaksot) ja laatia suosituksia niiden varalle.



Kuva 20. IFIM-menetelmän pääkomponentit.

Koko tutkimusjoen mittaaminen ei ole työmäärään nähden järkevää vaan joesta pyritään luomaan kokonaiskuva valitsemalla mitattavat jokiosuudet kohteista, jotka kuvaavat ja edustavat sitä muutosta, mikä tapahtuu fyysisessä elinympäristössä tultaessa jokea yläosista alavirtaan. Siten joki jaetaan eri luonteen mukaisiin osiin, joista valitaan näitä edustavat jokiosuudet. Osuuksilta valitaan edelleen mittauspaikat (tutkimusasemat), joista määritetään paikallisesti tarjolla oleva elinympäristökirjo. Joen eri osa-alueilta, paikallistasolta ja eliöiden olinpaikoista saatu informaatio yhdistetään ja saatujen tulosten perusteella arvioidaan joko jo tehdyn työn tai tulevien töiden vaikutuksia (Kuva 20).

IFIM-menetelmän pääkomponentti on paikallistason (tutkimusasema) elinympäristön simulointimalli, PHABSIM (Physical Habitat Simulation), joka koostuu useista eri tietokoneohjelmista. Sen tarkoituksena on laskea tietylle lajille (tai lajin kehitysasteelle) käyttökelpoisen alueen määrä rajatulla jokiosuudella (tutkimusasemalla) jokiuoman ominaisuuksien ja virtaaman avulla. Seuraavassa selvitetään PHABSIM-prosessin eteneminen perustuen Pohjois-Amerikassa kehitettyyn ja käytettyyn malliin. Tästä malliversiosta on saatavilla RHABIN-niminen kaupallinen ohjelmistopaketti mikrotietokoneille (Payne 1994, yhteystiedot myyjään saa mm. kirjoittajilta).

9.3.1 Mallin periaate

Paikallistason tutkimuskohteessa esim. kaloille tarjolla olevaa habitaattia ja sen olosuhteita kuvataan neljän mitattavan muuttujan, syvyyden, virrannopeuden, pohjan laadun ja suojan avulla. Muuttujien arvot mitataan tutkimusaseman jokiuoman poikkileikkauslinjoilta useista pisteistä. Poikkileikkauslinjat sijoitetaan niin, että ne kuvaavat mahdollisimman hyvin aseman olosuhteita yhden poikkileikkauslinjan edustaessa tiettyä joen pituussuunnassa olevaa joki(koski)osuutta. Poikkileikkauslinjoilla sijaitsevat mittauspisteet tuottavat yhdessä jokiprofiilin (mm. pudotuskorkeus, uomanmuoto) kanssa soluista (mikrohabitaateista) koostuvan rakennemallin (Kuva 21). Solujen koko määräytyy tutkimusalueella peräkkäin olevien poikkileikkauslinjojen ja niillä vierekkäin olevien mittauspisteiden välisten etäisyyksien mukaisesti siten, että malli määrittää solun rajat em. linjojen puoleen väliin tai erikseen mittauksen yhteydessä määrätyle etäisyydelle poikkileikkauslinjoista. Haluttu mittaustarkkuus on sovitettava tarkasteltavan lajin/kehitysvaiheen mukaan jo ennen mittausvaihetta. Käytännössä rakenteeltaan monimuotoinen pohja vaatii huomattavasti enemmän mittauspisteitä poikkileikkauslinjalta kuin monotoninen pohjarakenne. Periaatteessa jokainen solu koostuu eri muuttujien yhdistelmästä, jotka on mitattu ko. solun mittauspisteestä ja yleistetty koskemaan koko solua.

Mittausajankohdan virtaamatiedot saadaan tutkimusaseman poikkileikkauslinjoilta tehtyjen syvyys- ja virrannopeusmittauksen perusteella. Virtaamamallilla on mahdollista laskea eri suuruksella virtaamalla jokaiselle solulle uudet syvyys- ja virrannopeusparametrien arvot. Pohjanlaadun katsotaan olevan virtaamasta riippumattoman. Käytännössä näiden tietojen perusteella tutkimusaseman muuttujien arvot voidaan laskea myös missä tahansa alueella simuloitavassa realistisessa virtaamatilanteessa.

Solun soveltuvuus tarkasteltavan lajin elinympäristöksi saadaan habitaattimallien avulla. Niissä solujen mitatut/simuloidut fysikaalisten parametrien arvot sijoitetaan kyseisen lajin elinympäristövaatimuksia kuvaaviin käyriin, joiden perusteella voidaan arvioida kyseisten muuttujien soveltuvuudet (SI, soveltuvuusindeksi) ko. lajille

asteikolla 0–1. Usean muuttujan arvoista koostuva yhdistetty soveltuvuusindeksi (CSI, Composite Suitability Index) voidaan laskea usealla eri tavalla. Käytetyin tapa on kertoa muuttujien arvot keskenään (kumulatiivinen CSI, eng. Multiplicative CSI), jolloin solun (alueen) optimaalisin indeksi saadaan vain silloin, kun kaikki muuttujat ovat optimaalisia:

$$\text{CSI} = \text{SI}(\text{syvyys}) * \text{SI}(\text{virrannopeus}) * \text{SI}(\text{pohjanlaatu})$$

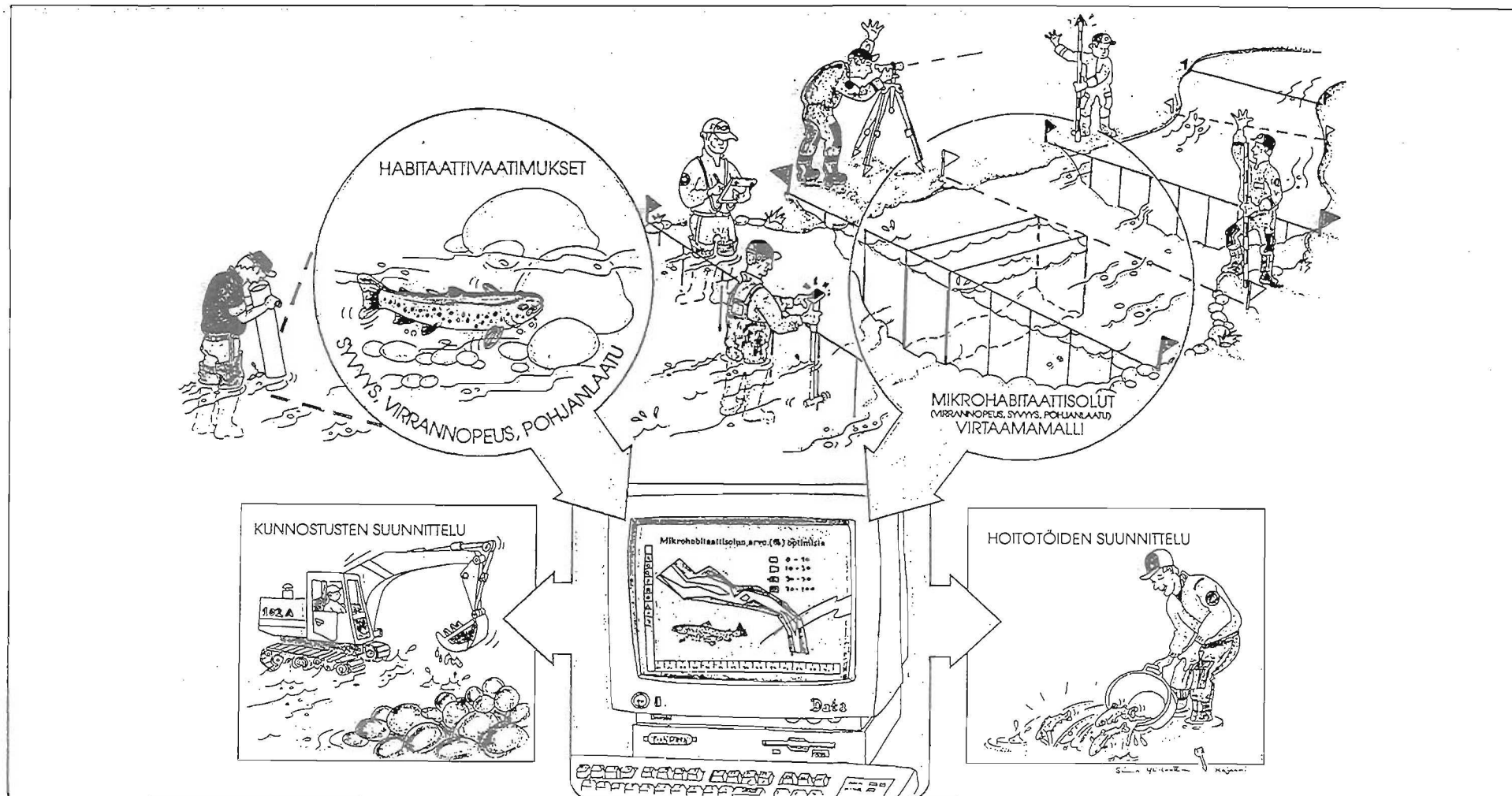
Muita käytettyjä kaavoja ovat geometriseen keskiarvoon, minimimuuttujaan tai käyttäjän omaan valintaan perustuvat CSI:t. Käyttäjä voi näin painottaa muuttujia tapauskohtaisesti.

Elinympäristön simuloinnissa yhdistetään määritetyt virtaamaparametrit (myös simuloitujen virtaamien antamat uudet parametriarvot), pohjan laatu, suoja ja tarkasteltavan lajin elinympäristövaatimukset edellä mainittujen neljän fysikaalisen parametrin suhteen. Jokaiselle solulle lasketaan oma soveltuvuusarvo (UA, Usable Area), joka on solussa tarkasteltavalle lajille suhteutettu vallitsevien fysikaalisten muuttujien soveltuvuusarvo kerrottuna solun pinta-alalla:

$$\text{UA}(s) = \text{Pinta-ala}(\text{solu}) * \text{CSI}$$

UA:n arvo solussa vaihtelee sekä solun pinta-alan että yhdistetyn soveltuvuusindeksin funktiona. Virtaaman muuttuessa (simuloitaessa) solukohtainen soveltuvuusindeksi kasvaa tai pienenee ja näin peräkkäisillä simuloinneilla solulle haetaan virtaamakohtaisia UA:n arvoja.

PHABSIM–habitaattimalli tuottaa lopputulokseksi tarkasteltavalle lajille/kehitysasteelle soveltuvan kokonaisalueen määrän (WUA, Weighted Usable Area) tutkimusalueella tietyssä virtaamassa, joka saadaan laskemalla kaikkien tutkimusasemalla olevien solujen UA-arvot yhteen. Soveltuvan alueen määrä ilmoitetaan esimerkiksi eliölle soveltuvan alueen pinta-alana (WUA, m²) 100 rantametriä kohden kyseisellä virtaamalla. Yleisin tapa esittää em. tulos on WUA:n ja virtaaman välinen funktiokäyrä. Jos käytettävissä on virtaamatiedot koko vuoden ajalta, voidaan WUA:n määrä (ja sen vaihtelu) esittää esim. kuukauden, päivän tai muun aikayksikön asteikolla. Periaatteessa tutkimusalueen WUA voidaan laajentaa käsittämään esim. koko sen jokialueen (makrohabitaatti), mitä tutkimusaseman voidaan katsoa edustavan. PHABSIMin informaation laajentaminen makrohabitaattimuuttujilla (vedenlaatu, lämpötila) muodostaa jo laajemman kokonaisuuden, IFIM:in.



Kuva 21. PHABSIM- mallin soveltamista varten tarvittavat maastomittaukset, joiden perusteella voidaan tietokoneavusteisesti kuvata selvitysalueen habitaattien olosuhteita ja arvioida niissä tehtäviä hoito- ja kunnostustoimien mahdollisuuksia.

9.3.1.1 Virtaamamallit ja mikrohabitaatin simulointimallit

PHABSIM sisältää laajan joukon ohjelmia, jotka voidaan jakaa kahteen pääryhmään, virtaamaa ja mikrohabitaattia simuloiviin malleihin.

Virtaamaa mallintavat ohjelmat perustuvat matemaattisiin kaavoihin, joilla pyritään simuloimaan vedensyvyyskärsiä ja virrannopeuksia eri virtaamilla. Valittavana on neljä mallia, joiden käyttökelpoisuus vaihtelee olosuhteiden mukaan:

WSP:

- laskee energiahäviön kahden poikkileikkauslinjan välillä.
- käytetty arvioitaessa vedenpinnan muutoksia ei-mitatuissa virtaamaolosuhteissa.
- toimii parhaiten suvannoissa ja koskissa sekä olosuhteissa, joissa esiintyy akanvirtoja.

HEC-2:

- toimii kuten WSP.
- käyttökelpoisempi erityisolosuhteissa (sillat, jääkansi).

MANSQ:

- käyttää Manningin yhtälöä simuloitaessa vedenpinnan muutoksia eri virtaamissa.
- toimii parhaiten nivoissa ja matalissa koskissa, missä ei ole akanvirtaa.

IFG4:

- käytetty pääasiassa solussa olevien virrannopeuksien laskemiseen ei-mitatuissa virtaamaolosuhteissa.
- käyttökelpoinen suvannoissa, nivoissa ja koskissa.

Virtaaman mallintaminen edellyttää, että niihin liittyvät muuttujat (virrannopeus, veden syvyys) tulee mitata samoilta, maastoon merkityiltä poikkileikkauslinjoilta käytetystä virtaamamallista riippuen yhtenä, kahtena tai kolmena eri virtaama-ajankohtana (Q_{CAL}). Tämä ei koske jokiuoman kaltevuuden ja poikkileikkauslinjojen välisten etäisyyksien mittauksia, jotka pysyvät vakioina. Myös virrannopeudet voidaan mitata vain kerran, mutta tämä tulisi tehdä suurimmalla kalibrointivirtaamalla (IFG4).

Kaikki virtaamamallit sisältävät omat rajoituksensa eivätkä näin ollen kykene kuvaamaan kaikkia virtaamaolosuhteita lukuisilla, toisistaan poikkeavilla poikkileikkauslinjoilla. Usein joudutaankin käyttämään useampaa, tutkittavaan jokeen sopivaa mallia simuloimaan vedenpinnan tasojä eri virtaamilla. Mallien antamia tuloksia voidaan kontrolloida esim. tarkastamalla, ettei vedenpinnan taso nouse alavirtaan mentäessä tai suorittamalla ylimääräisiä mittauksia virtaamilla, joita on simuloitu ja vertaamalla näitä tietoja keskenään.

Mikrohabitaattia kuvaavat ohjelmat laskevat lajikohtaisen WUA:n niiden optioiden perusteella, mitkä käyttäjä antaa lähtötilanteessa. Käytettävissä on neljä habitaattimallia, jotka soveltuvat erilaisiin olosuhteisiin ja eri tyyppisille lajeille:

HABTAE:

- laskee soveltuvan, optimaalisen tai marginaalisen mikrohabitaatin määrän (tilavuus tai pinta-ala).
- laskee WUA:n määrän (tilavuus tai pinta-ala).
- käytetyimmät muuttujat ovat syvyys, keskim. virrannopeus, virrannopeus kalan

olinpaikassa (nose velocity), suoja ja pohjan raekoko.

–käytetty pääasiassa liikkuviin lajeihin vakaissa tai tasaisesti vaihtelevissa olosuhteissa.

HABTAV:

–laskee soveltuvan, optimaalisen tai marginaalisen mikrohabitaatin määrän (pinta-ala).

–käyttää solun ja sitä ympäröivien solujen virrannopeutta laskettaessa soveltuvuutta.

–käytetty kuvailtaessa driftiä hyväkseen käyttävien kalojen ruokailumikrohabitaattia vakaissa tai tasaisesti vaihtelevissa olosuhteissa.

HABEF:

–vertaa jokaisen solun soveltuvuutta kahdessa eri virtaamassa tai kahdelle eri lajille.

–käytetty laskettaessa liikkumattomien lajien mikrohabitaattia nopeasti muuttuvissa virtaamissa.

HABTAM:

–vertaa solun ja sitä lähellä olevien solujen soveltuvuuksia kahdessa eri virtaamassa.

–käytetty laskettaessa rajoitetusti liikkuvien lajien mikrohabitaattia nopeasti muuttuvissa olosuhteissa.

Fyysistä ympäristöä simuloiviin mikrohabitaattimalleihin liittyy samat kriteerit kuin virtaamamalleihin eli mallin täytyy soveltua kyseisiin olosuhteisiin ja kohteena olevan lajin käyttäytymismalleihin. Suunnitteluvaiheessa on tärkeää etsiä eliön elinympäristöä parhaiten kuvaavat muuttujat ja mitata ne sillä tarkkuudella, mitä eliö ja kriteerit vaativat. Käyttäjän on kiinnitettävä huomiota, jos mahdollista, vielä enemmän habitaattimallien valintaan ja lähtöasetuksiin (esim. CSI:n laskentatapaan) kuin virtaamamalleissa, sillä mallien tulosten hyväksynnälle täytyy olla biologista pohjaa.

9.3.1.2 Lajien elinympäristövaatimukset

PHABSIM antaa lopputuloksena lajille tai kehitysvaiheelle soveltuvan habitaatin kokonaismäärän, mikä asettaa suuren painoarvon käytetyille laji/kehitysvaihekohtaisille mikrohabitaattivaatimuksille. Perushypoteesinä preferenssimallien käyttämiselle on, että lajit/kehitysvaiheet hakeutuvat niille parhaiten soveltuville alueille, jotka ovat kuvattavissa mitattavissa olevien muuttujien avulla. Tarkkuustason perusteella käytetyt preferenssimallit voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

I luokka:

–eliön mikrohabitaatille asettamat vaatimukset on laadittu kirjallisuuden tai asiantuntijoiden tiedon perusteella ja on sovellettu kyseiselle kehitysvaiheelle.

II luokka:

–eliön mikrohabitaattivaatimukset perustuvat maastossa satunnaisesti suoritettuihin eliön ympäristöä kuvaavien muuttujien mittauksiin, mutta eri habitaattien tarjollaolevuutta ei ole otettu huomioon. Tällöin kriteerit voivat luonnehtia yhtä hyvin jokiuoman luonnetta kuin eliön käyttäytymistä.

III luokka:

–kuin edellinen, mutta mikrohabitaattivaatimuksissa on otettu huomioon myös tarjolla oleva habitaatti, jotta ympäristön aiheuttamaa virhettä voidaan pienentää. Tämän

menettelyn perusteella laaditut eliön elinpaikkavaatimukset ovat paremmin sovellettavissa myös muille jokialueille, jotka poikkeavat alueesta, missä kriteerit on laadittu.

Elinympäristövaatimuksia laadittaessa tiedot kerätään pääasiassa suoraan havainnoinnilla (mm. sukeltamalla) tai sähkökalastamalla. Erittäin liikkuville lajeille voidaan käyttää radiotelemetriaa ja suhteellisen paikallisille lajeille vedenalaista kameraa tai pienialaisia kerääjiä. Alueen, josta kriteerit kootaan, tulisi olla rakenteellisesti ja virtaamaltaan monimuotoinen. Niinikään kohdelajin tulisi olla runsaslukuinen, jotta parhaiden ja huonompien paikkojen erot tulisivat selville.

Tutkimuksen suunnitteluvaiheessa on harkittava, voidaanko jo olemassaolevia tarkasteltavan lajin elinympäristövaatimuksia soveltaa suoraan tutkimusalueelle. Tällöin tulisi huomioitava mm. sellaiset seikat, onko alueilla, missä kriteerit on tuotettu ja minne niitä sovelletaan, tarkasteltavan lajin kilpailijoiden ja saalistajien runsaussuhteet samankaltaisia. Paras lopputulos saadaan luonnollisesti silloin, kun preferenssikäyrät on laadittu tutkimusjoesta, mutta usein tämän estävät sekä taloudelliset että ajalliset resurssit. Monissa tutkimuksissa on muualta tuotuja käyriä sovellettu paikallisiin olosuhteisiin ja tilastollisten testien perusteella niiden on havaittu olevan käyttökelpoisia. Muualla tehtyjen ympäristövaatimusten testaaminen onkin ehdoton edellytys ennen niiden käyttämistä.

Preferenssikäyriä on tällä hetkellä laadittu jo lukuisille kalalajeille USA:ssa ja Euroopassa. Suomessa lajikohtaisia kriteerejä on tehty järvitaimenen eri-ikäisille poikasille ja niitä ollaan vielä tarkentamassa liittämällä niihin mukaan eri vuodenaikojen tuomat muutokset (Mäki-Petäys ym. 1994). Kalojen lisäksi lajikohtaisia elinympäristökriteerejä on maailmalla tehty mm. pohjalla esiintyville selkärangattomille (kalojen ravintoeläimille) sekä vesikasveille (suoja). Eräänlaisia soveltuvuuskäyriä on jopa veneilylle ja koskimelonalle.

9.3.1.3 Mallin soveltaminen muualla ja malliin liittyvä kritiikki

Habitaattimalleja sovelletaan tällä hetkellä useissa maissa ympäri maailmaa. Yhdysvalloissa PHABSIM (IFIM) on useissa osavaltioissa pakollinen työkalu arvioitaessa vesistö rakentamisesta aiheutuvia vaikutuksia, veden käyttöoikeuksiin liittyviä asioita ja määritettäessä käyttörajoja kiistanalaisissa joissa. Muutamassa tapauksessa sitä on käytetty myös uoman muokkaamis- ja parantamistoimenpiteiden yhteydessä. Tutkimusjoet ovat olleet yleensä alle 30 m leveitä, poikkeuksena mm. Coloradojoki (500 m leveä) ja Mississippin joki. Mallia ei suositella eikä sitä ole käytetty hitaasti virtaavissa ja lämpimissä vesissä. Ranskassa PHABSIMista on tehty oma sovellus ja sitä on käytetty mm. pato- ja tekoallastutkimuksissa ja uoman muutosvaikutusten arvioinnissa pääasiassa leveydeltään alle 20 m joissa sekä kolmessa suuressa joessa, Rhônessa, Seinessä ja Allierissa (Souchon et al. 1990).

Norjassa on käytössä sikäläisten hydrologien kehittämä PHABSIM-mallin muunnos. Norjalaisten käyttämän menetelmän hydrologinen simulointi ja kaloille käyttökelpoinen potentiaalisen alueen arviointiperusteet poikkeavat hieman alkuperäisestä PHABSIM-mallista. Malli on osana River System Simulator (RSS) mallipaketissa, joka on kehitetty vesiekosysteemin käytön suunnitteluun ja optimointiin, ja se sisältää 14 erilaista mallia, jotka liittyvät jokien ja järvien valuman fysiikan ja biologien prosessien, sähkötuotannon simuloinnin ja ihmistoiminnan vaikutusten mallintamiseen.

(Harby 1994).

Habitaattimallin laajamittainen käyttö tuottaa koko ajan uutta tietoa, joka yhdessä moneen ohjelmaan perustuvan rakenteen kanssa mahdollistaa sen dynaamisen kehittymisen vastaamaan kunkin hetkistä tietämystä. Yhdysvalloissa PHABSIMin (IFIM) käyttäjiltä on kysytty mm. mallin tuottamista tuloksista, malliin sisältyvistä epäkohdista ja kehitettävistä osa-alueista. Kaikkiaan 66 %:ssa 616 suoritetusta tutkimuksesta käyttäjien arvioima tulos oli hyvä tai erittäin hyvä. Useimmat ongelmat liittyivät lajien preferenssikäyriin ja tavalla tai toisella tietokoneisiin. Niinikään kokonaiskustannukset (erityisesti IFIM) ja maastohenkilökunnan kokemattomuus olivat kritiikin kohteena. Käyttäjät toivoivat lisäharjoitusta ja työryhmien perustamista henkilökohtaisen valmiuden parantamiseksi sekä preferenssikäyrien ja tietokoneohjelmien edelleen kehittämistä.

Mallin sovellusalueeseen tutustuminen on ensiarvoisen tärkeää ennen maastotöitä. Käyttäjän on tiedostettava malliin liittyvät rajoitukset, sen soveltuvuus tarkasteltavalle jokialueelle ja tarjolla olevat resurssit. PHABSIMia on arvosteltu mm. seuraavista seikoista:

Lajien mikrohabitaattivaatimukset eivät välttämättä vastaa todellisuutta, sillä niissä ei ole otettu huomioon mm. lajien välistä vuorovaikutusta kuten kilpailua ravinnosta ja elintilasta, jotka voivat vaikuttaa myös kohderyhmän mikrohabitaatin valintaan.

Kaikille arvioinnissa käytettäville lajeille ei ole olemassa niiden elinympäristövaatimuksia tai ne eivät ole suoraan siirrettävissä toisenlaisiin olosuhteisiin ja vaativat testausta.

Lopputuloksena saadaan tarkasteltavalle lajille soveltuvan potentiaalisen alueen määrä, mutta aluetta ei voida suoraan ilmoittaa kalabiomassana ilman laajaa aineiston keruuta useana vuonna.

Jokiuoman morfometrian on oletettu olevan vakion, vaikka esim. suoja tai pohjan raekoko voivat muuttua vuodenajoin.

Hyvin jyrkkiä ja runsashaaraisia jokiuomia on vaikea simuloida.

Useimmin kritiikin kohteena olleet lajien mikrohabitaattivaatimukset ovat nykyään entistä käyttökelpoisempia, sillä mallin laajamittainen käyttö on tuottanut ja tuottaa koko ajan uutta tietoa eri lajien habitaattivaatimuksista. Monilajisessa yhteisössä kaikilla lajeilla on oma ekolokeronsa, jolla ne pyrkivät vähentämään lajien välistä kilpailua niin habitaattiresursseista kuin ravintovaroista. Lähes kaikki virtaavan veden eliöstön habitaattitutkimukset ovat päätyneet korostamaan mallissa käyttävien neljän perusmuuttujan tärkeyttä lajien jakautumiseen ja esiintymiseen vaikuttavina tekijöinä. Suojan määrittäminen ei toistaiseksi ole kehittynyt kaikilta osin standardinomaiseksi (mm. vesikasvien tarjoaman suojan osalta) ja kehitteillä on uomaindeksin laatiminen, joka huomioisi myös suojan. Lisäksi tämän vuosikymmenen aikana tutkimus tulee keskittymään etenkin biologisten yhteisöjen dynamiikkaan (lajien välinen vuorovaikutus, kilpailu, predaatio).

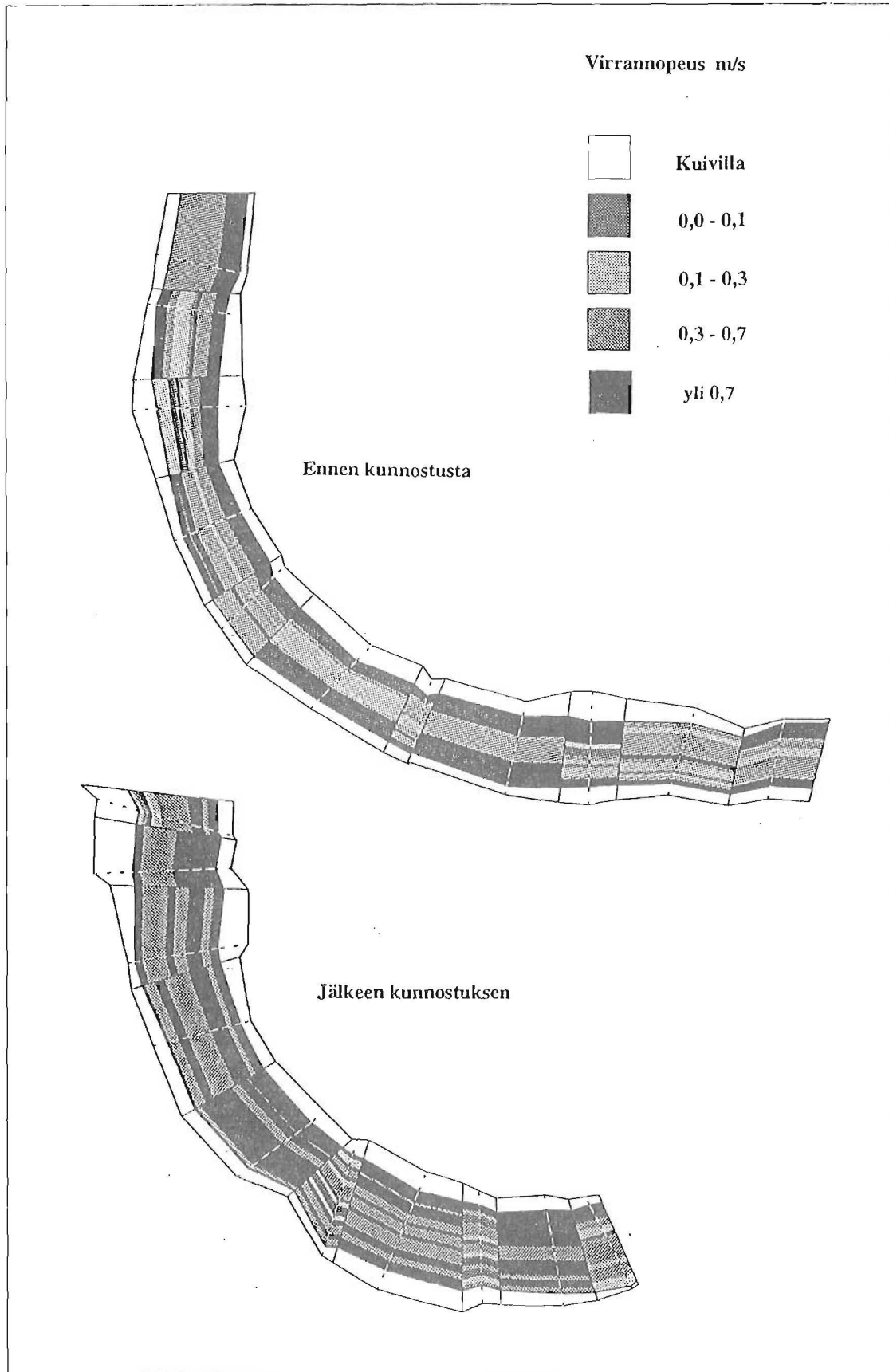
9.4 Mallin käyttömahdollisuudet koskikunnostusten arvioinnissa

Uittosäännön purkaminen on mahdollistanut perattujen, rännimäisten koskien kunnostamisen ja yritykset alkuperäisten kalalajien palauttamiseksi takaisin. Tällä hetkellä kunnostusten tuloksellisuuden arviointia tehdään lähes pelkästään koekalastusten avulla, jolloin tuloksena on yleensä, että laji/kehitysaste kykenee tai ei kykyne elämään kunnostetuissa olosuhteissa. Lopputulokset voivat olla siis samat kuin lähtötilanteessa.

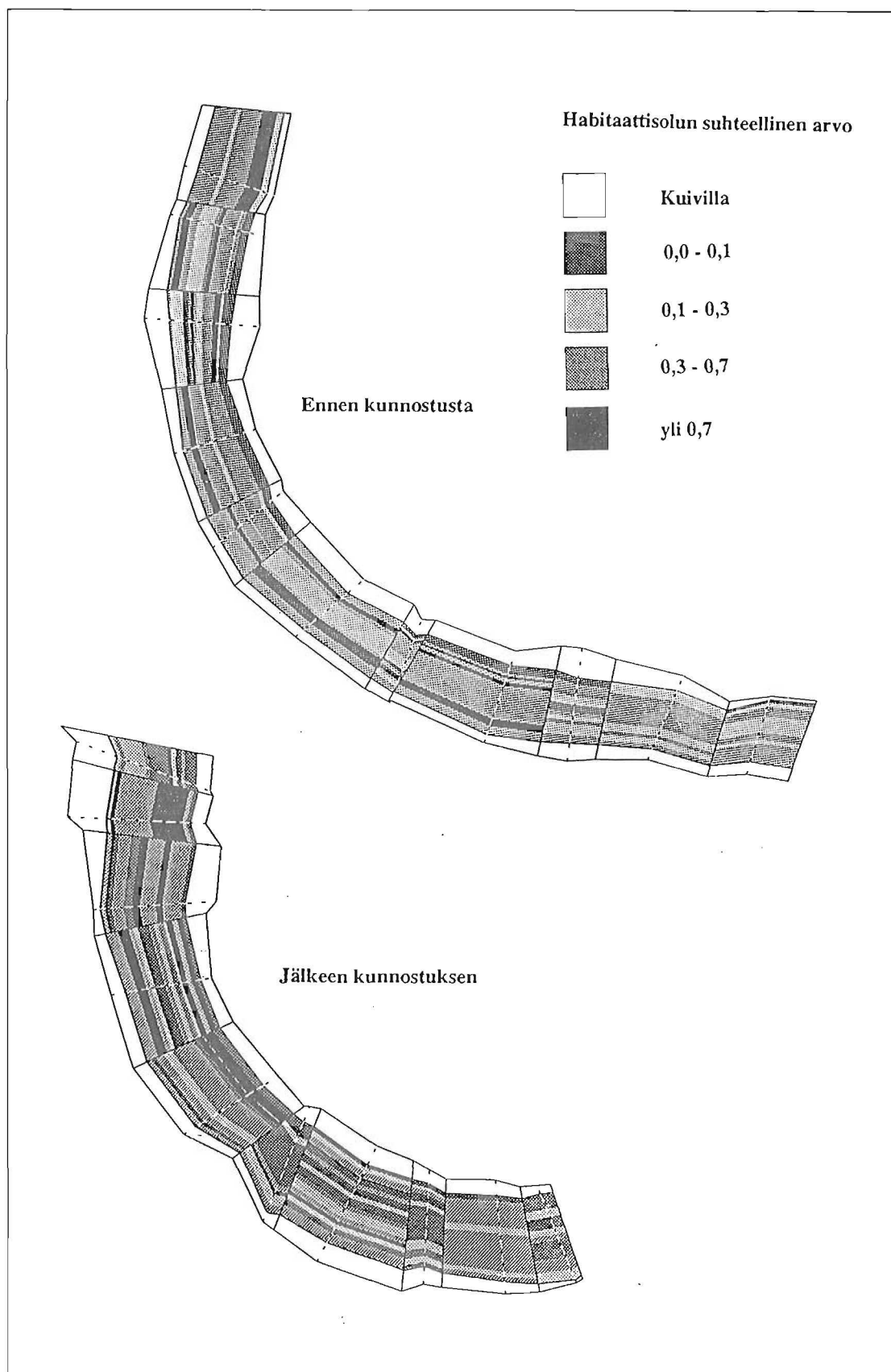
Elinympäristömallia ei ole vielä sovellettu laajamittaisesti koskikunnostusten tuloksellisuuden arviointiin. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos on selvittänyt Oulun vesi- ja ympäristöpiirin tekemien Ijoen vesistöalueen koskikunnostusten yhteydessä habitaattimallin tarjoamia mahdollisuuksia kunnostusten tuloksellisuuden arvioimiseen ja myös suunnitteluun. Ensimmäiset tulokset ovat olleet lupaavia. Maastomittauksilla ja simuloinneilla on voitu määrittää, millaisia habitaatteja perattu koski sisältää eri virtaamatilanteissa, ja hahmottaa niitä tarpeita, mitä kunnostuksella tulisi saavuttaa useammankin kuin yhden lajin/kehitysvaiheen kannalta.

Tekemällä habitaattimallin edellyttämät maastomittaukset samalta alueelta ennen ja jälkeen kunnostuksia, voidaan näiden kahden tuloksen perusteella vertailla, lisääntyikö lajille/kehitysasteelle sopivan elinympäristön määrä olennaisesti. Kuvissa 22–26 on esitetty esimerkinomaisesti Taivalkosken Kutinjoen eräällä koskialueella kunnostuksessa tapahtuneita muutoksia. Tuloksista on pääteltävissä, että vaikka koskessa on kunnostuksessa tapahtunut sekä maisemallisesti että rakenteellisesti (mm. uomanmuoto) huomattavia muutoksia, ovat kaloille (tässä taimenelle) tarjolla olevien potentiaalisten suotuisten olinpaikkojen määrässä tapahtuneet muutokset melko pieniä. Kunnostus näyttäisi suosineen aikuisia ja nuoria taimenia, mikä tukee mm. Jutilan ym. (1994) istutuksiin perustuvia selvityksiä. Vastakuoriutuneiden taimenten ja pienpoikasten olinpaikkojen määrässä ei vedenpeittämän alueen kasvusta huolimatta ole tapahtunut merkittäviä muutoksia. Kun edellisten lisäksi arvioidaan mallin avulla mm. kutualueiksi soveltuvan alueen määrä kohteessa, päästäänkin pohtimaan, mikä tai mitkä tekijät ja missä elinvaiheessa ovat ns. minimitekijöitä taimenen elinkaaren jokivaiheen aikana. Lukija voikin pohtia mielessään esimerkiksi, kuinka istutukset kannattaisi toteuttaa tässä koskessa, jos lähtökohtana pidetään sitä, että kullekin elinvaiheelle tarjollaolevien potentiaalisten olinpaikkojen määrä rajoittaa niiden menestymistä.

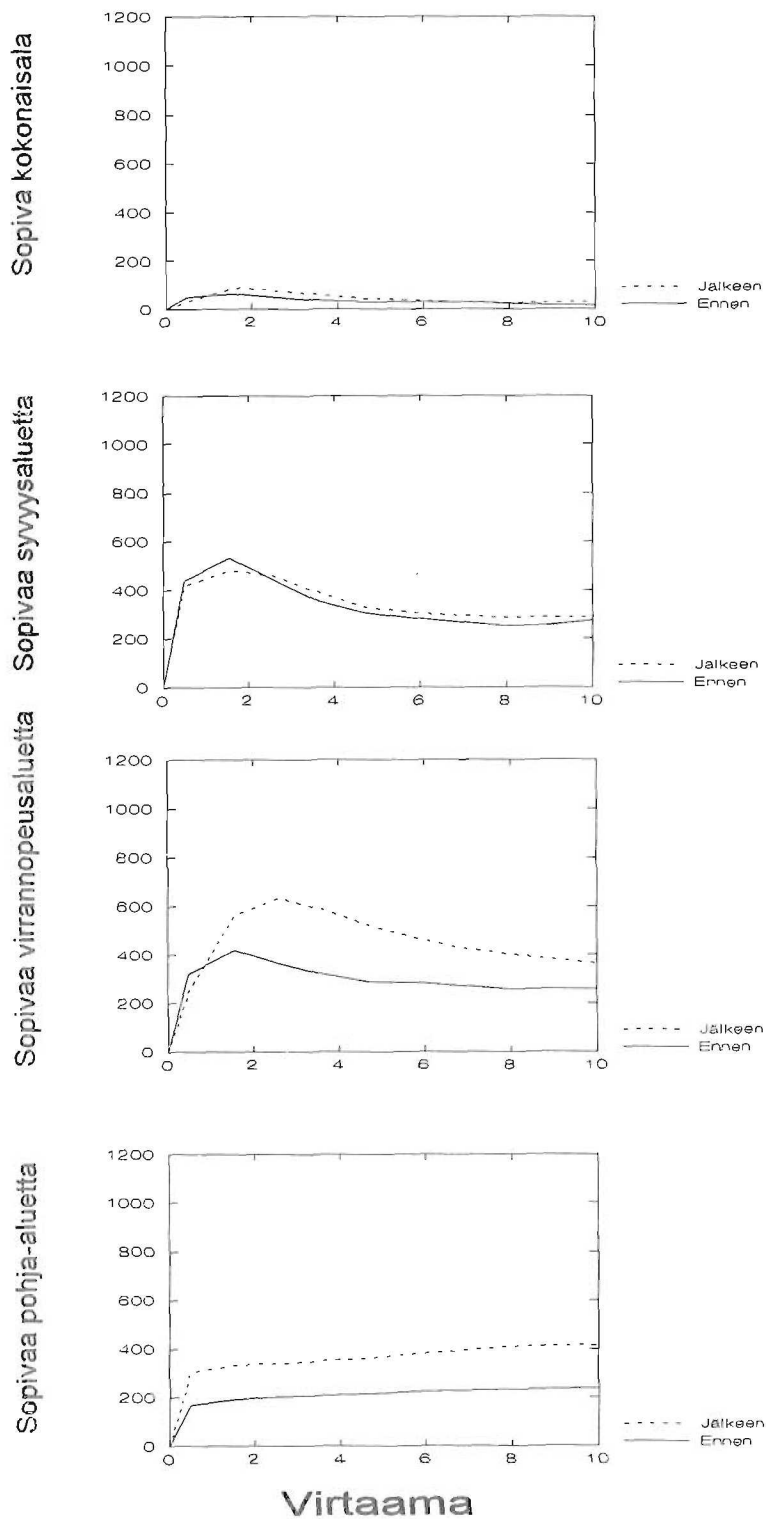
Habitaattimalli antaa mahdollisuuden kunnostuksen reaaliaikaiseen arviointiin sen onnistumisesta kalan näkökulmasta. Se mahdollistaa myös syiden etsimisen siihen, miksi tiettyjen osa-alueiden (habitaattien) rakentaminen ei toteutunut tai niiden määrä jäi vähäiseksi. Tämä edesauttaa kunnostustekniikan kehittymistä ja löytämään ne ratkaisut, miten lajille ja sen jokaiselle kehitysvaiheelle voidaan luoda potentiaalisesti sopivimmat olosuhteet helpoimmin. Kunnostuksissa tehtävät ratkaisut, usein kompromissit, voidaan sitoa aikaisemmin suoritettujen kunnostusten tuottamaan informaatioon, jolloin kunnostuksessa voitaisiin luoda eri tyyppisiä habitaatteja riittävä, keskinäisiltä suhteiltaan tasapainoinen määrä. Mallitarkastelun avulla on mahdollista myös kuvailla ja luokitella kunnostuksessa syntyneitä elinympäristöjä ryhmiin, jotka ilmentävät esimerkiksi erilaisilla kunnostustekniikoilla aikaansaattua kosken rakenteellista monimuotoisuutta ja edelleen lajistollista diversiteettipotentiaalia.



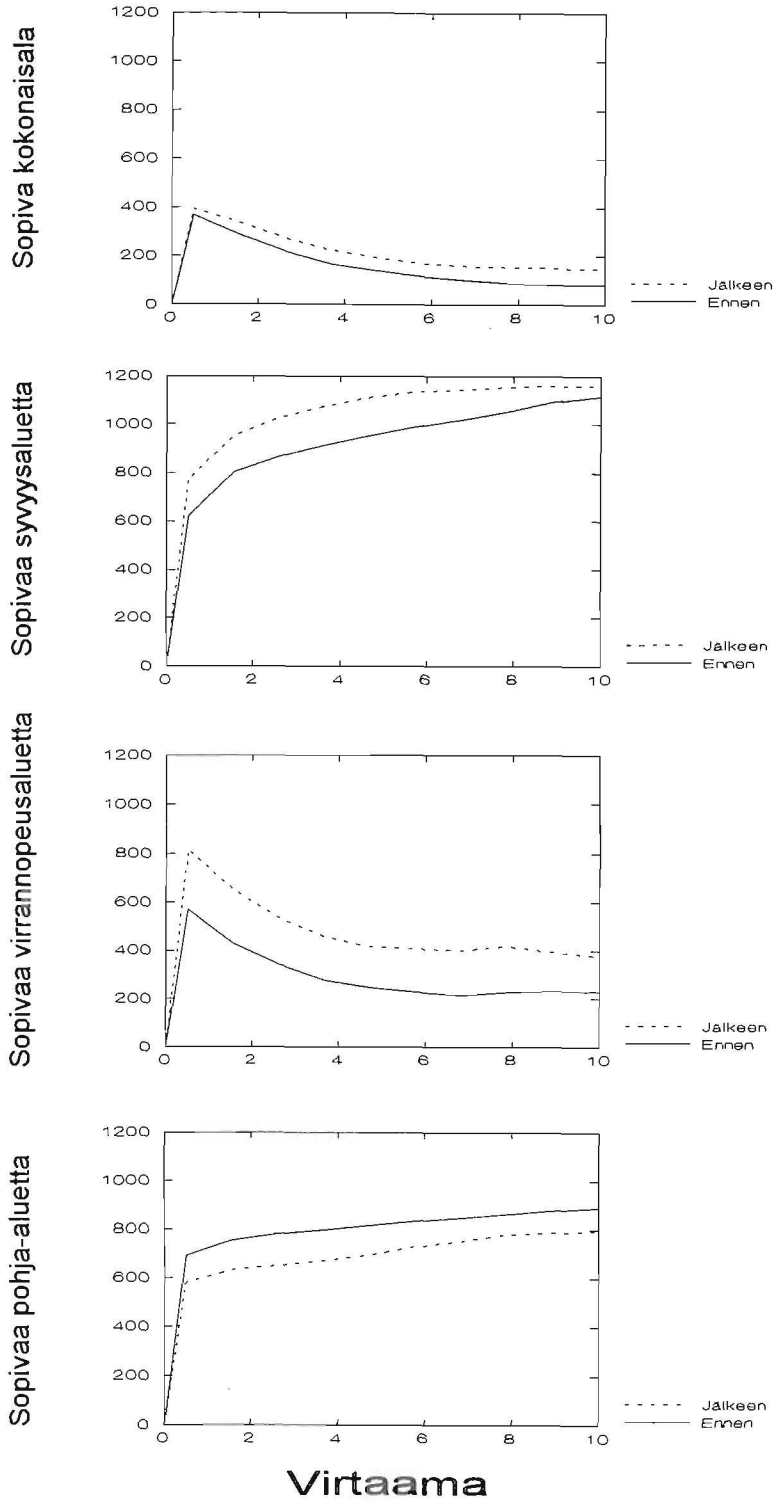
Kuva 22. Taivalkosken Kutinjoen erään kosken kunnostuksessa virrannopeuden suhteen tapahtuneet muutokset habitaattimallin avulla arvioituna 1 m³/s virtaamatilanteessa, mikä vastaa loppukesän tavanomaista tilannetta. Ennen kunnostusta mittauksia tehtiin pitemmällä matkalla koskea kuin jälkeen kunnostuksen.



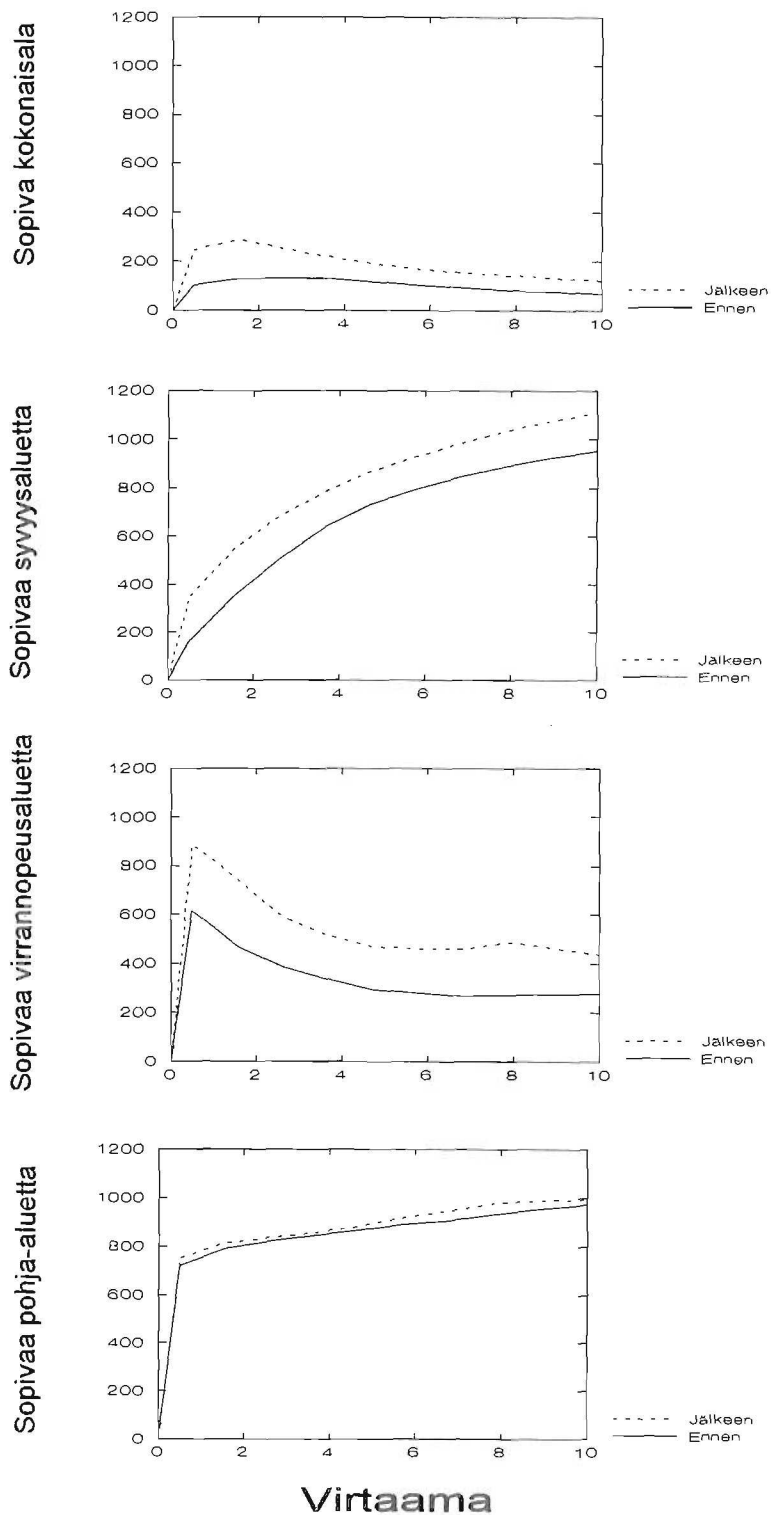
Kuva 23. Taivalkosken Kutinjoen erään kosken nuorille taimenille tarjolla olevien habitaattisolujen suhteellinen 'hyvyys' (0 huono, 1 optimaalinen) ennen ja jälkeen kunnostuksen habitaattimallin avulla arvioituna $1 \text{ m}^3/\text{s}$ virtaamatilanteessa, mikä vastaa loppukesän tavanomaista tilannetta. Ennen kunnostusta mittauksia tehtiin pitemmällä matkalla koskea kuin jälkeen kunnostuksen.



Kuva 24. Taivalkosken Kutinjoen eräässä koskessa taimenen pikkupoikasille tarjolla olevan soveltuvan habitaatin määrä ($\text{m}^2/100$ jokimetriä kohti) eri habitaattimuuttujien suhteen ja painotettuna sopivana kokonaisalana ennen ja jälkeen kunnostuksen virtaaman funktiona habitaattimallin avulla arvioituna $0,5\text{--}10 \text{ m}^3/\text{s}$ virtaamilla.



Kuva 25. Taivalkosken Kutinjoen eräässä koskessa nuorille taimenille tarjolla olevan soveltuvan habitaatin määrä ($\text{m}^2/100$ jokimetriä kohti) eri habitaattimuuttujien suhteen ja painotettuna sopivana kokonaisalana ennen ja jälkeen kunnostuksen virtaaman funktiona habitaattimallin avulla arvioituna $0,5\text{--}10 \text{ m}^3/\text{s}$ virtaamilla.



Kuva 26. Taivalkosken Kutinjoen eräässä koskessa aikuisille (20–30 cm kokoluokka) taimenille tarjolla olevan soveltuvan habitaatin määrä ($\text{m}^2/100$ jokimetriä kohti) eri habitaattimuuttujien suhteen ja painotettuna sopivana kokonaisalana ennen ja jälkeen kunnostuksen virtaaman funktiona habitaattimallin avulla arvioituna 0,5–10 m^3/s virtaamilla.

Kunnostuksiin sijoitetaan vuosittain useita miljoonia markkoja eikä sijoitus ole kansantaloudellisesti kannattavaa, jos tuloksena on vain laajalle levitetty uoma, jossa vesi ei riitä alivirtaamakautena. Myös puolitehoinen kunnostaminen jättämällä kriisiaikaa varten uittoväyliä voi kyseenalaistaa koko toimenpiteen kannattavuuden. Habitaattimallin avulla työt on mahdollista tarkentaa juuri niille osa-alueille, jotka vaativat kunnostusta ja tehdä ne siinä laajuudessa kuin on tarpeellista. Samalla voidaan ottaa huomioon sellaisetkin olosuhteet, jotka toistuvat harvoin.

Koskikunnostuksiin liittyvät myös eri kalalajien kotiutusistutukset. Istutusmäärien arvioimiseksi elinympäristömalli antaa lajin elämänvaiheelle (eri kokoluokille) tarjolla olevien potentiaalisten olinpaikkojen määrän, jolloin istutukset on suhteutettavissa tähän. Välitöntä lajinsisäisen kilpailun riskiä rajallisista resursseista voidaan vähentää. Lisäksi tulosten perusteella voidaan arvioida istutusten lisäksi muitakin kunnostettuihin koskialueisiin soveltuvia kalastus- ja kalakantojen hoitostrategioita ja kartoittaa esimerkiksi eri koskien tai kosken osa-alueiden soveltuvuutta/arvoa kalastuspaikkoina potentiaalisten 'ottipaikkojen' suhteen. Toki on voitava ottaa huomioon myös se, että välittömästi kunnostuksen jälkeen kosken fyysinen ja biologinen tila ei ole lopullinen, mikä voi alentaa alueen kykyä ylläpitää normaaliolojen kalatiheyttä. Esimerkiksi pohjaeläintuotantotasoa voi olla kunnostuksen jälkeen aluksi pieni kohentuen kasvillisuuden saadessa jalansijaa. Ylimoitettut istutukset voivat tällöin tuottaa runsaasti alueelta poisvaeltavia kaloja ja taloudellista tappiota. Elinympäristömallin avulla mahdollisten, mm. alivirtaamakausiin ajoittuvien tarkasteltavan lajin menestymismahdollisuuksiin vaikuttavien 'pullonkaulajaksojen' ottaminen huomioon kunnostusta suunniteltaessa/tuloksia arvioitaessa on mahdollista ja myös ensiarvoisen tärkeää, sillä jo yhdenkin tällaisen jakson esiintyminen voi aiheuttaa ongelmia halutun kalaston palauttamisyrityksissä kunnostettuihin kohteisiin.

Vaikka koskikunnostusten tuloksena jokemme olisivat kalojen elinolojen suhteen kunnossa, ei tämä vielä takaa runsaita saaliita varsinkaan vaeltavien kalalajien kohdalle. Jos koskikunnostusten jälkeiseen hoitostrategiaan liittyy esimerkiksi taimenen luontaisen lisääntymisen palauttaminen, tulee tällöin ottaa huomioon myös taimenten menestymismahdollisuudet syönnösvaelluksen aikana järviolueella. Käytännössä tämä tarkoittaa järviolueella voimakastakin verkkokalastuksen säätelyä. Vasta taimenen elinkaaren koko liikkuma-alueen huomioonottava hoito- ja säätelytoiminta antaa mahdollisuuden koskikunnostuksien onnistumisesta hyötymiseen. Kuitenkin kunnostusten huolelliseen tekemiseen ja arviointiin kannattaa sijoittaa, sillä se luo mahdollisuudet ainakin puhtaasti jokikalojen (mm. harjus, purotaimen) kantojen ylläpitämiseen järvikalastuksen säätelyvaikeuksien ulkopuolella.

KIRJALLISUUS

- ARMOUR, C.L. & TAYLOR, J.G. 1991. Evaluation of the Instream Flow Incremental Methodology. S. Fish and Wildlife Servicefield users. Fisheries 16 (5): 36-43.
- BOVEE, K.D. 1982. A guide to stream habitat analysis using the Instream Flow Incremental Methodology. Instream Flow Information Paper 12. U.S.D.I. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services. 248 pp.
- BULLOCK, A., GUSTARD, A. & GRAINER, E.S. 1991. Instream flow requirements of aquatic ecology in two British rivers. Institute of Hydrology, Rep. No 115. 131 pp.
- HARBY, A. 1994. Biotope improvement analysis in the river Dalåa with the River System Simulator. Proceedings of the first international symposium on habitat hydraulics. August 18.-20., 1994. The Norwegian institute of technology. Trondheim, Norway.
- JUTILA, E., KARTTUNEN, V. & NIEMITALO, V. 1994. Effects of different River Iijoki, Northern Finland. Manuscript. Finnish Game and Fisheries restoration methods on the numbers of trout fry in the tributaries of the Research Institute. Helsinki, Finland. (in Finnish with English summary).
- MÄKI-PETÄYS, A., MUOTKA, T., TIKKANEN, P., HUUSKO, A., KREIVI, P. & KUUSELA, K. 1994. Size-class differences in microhabitat use by juvenile brown trout. -Kalatutkimuksia- Fiskeriundersökningar 80, 38 p. Finnish Game and Fisheries Research Institute, Helsinki, Finland. (in Finnish with English summary)
- PAYNE, T. R. 1994. RHABIN: User-friendly computer model to calculate river hydraulics and aquatic habitat. Proceedings of the first international symposium on habitat hydraulics. August 18.-20., 1994. The Norwegian institute of technology. Trondheim, Norway.
- SOUCHON, Y., TROCHERIE, F., FRAGNOUD, E. & LACOMBE, C. 1990. Les modeles numeriques des microhabitats des poissons: application et nouveaux developpements. *Revue des Sciences de l'Eau*, 2(4), 807-830.
- YRJÄNÄ, T. 1993. Restoration of running waters within the Iijoki river area - goals, methods and test results. Manuscript. Oulu Water and Environment District, Oulu, Finland.
- YRJÄNÄ, T. & HUUSKO, A. 1992. Kalojen elinympäristön parantamistyöt Suomen joissa. Suomen kalastuslehti 99(6), s. 26-27.

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA - sarja A

83. Vesihuoltolaitokset 31.12.1988 ja 31.12.1989. Helsinki 1992.
84. Sandman, Olavi; Turkia, Jaana & Huttunen, Pertti: Paleolimnologinen tutkimus metsäojituksen ja -lannoituksen vesistövaikutuksista Juupajoen Kalliojärvessä. Helsinki 1992.
85. Helsingin vesi- ja ympäristöpiiri: Uudenmaan ja Etelä-Hämeen vedet. Helsinki 1991.
86. Roila, Tuija: Pienvesien happamoitumisen seuranta vuosina 1979 - 1989.
Roos, Jaana: Puskurikapasiteetin muutokset eräissä pienjärvissä vuosien 1937 - 48 ja 1988 välillä. Helsinki 1992.
87. Ollikainen, Minna: Karjalan Pyhäjärven tila 1980-luvulla sedimentin piilevien ilmentämänä. Helsinki 1992.
88. Lepistö, Liisa: Planktonlevien aiheuttamat haitat. Helsinki 1992.
89. Rantakangas, Jorma: Perkauksen aiheuttaman kiintoainevirtaaman ennakointi. Helsinki 1992.
90. Kaijalainen, Erkki (toim.): Sonkajärven reitin vesien käytön yleissuunnitelma. Helsinki 1992.
91. Salo, Simo: The fate of chemicals spilled on water. A literature review of physical and chemical processes. Helsinki 1992.
92. Mäkirinta, Urho & Tolonen, Pasi: Vaalan Järvikylän järvien kasvillisuus järvien tilan kuvaajana. Helsinki 1992.
93. Mäkirinta, Urho: Muutoksia Alavetelin Isojärven kasvillisuudessa 1973 - 1981. Helsinki 1992.
94. Nakari, Tarja: Porvoon edustan merialueen meriveden vaikutuksista sumpputettujen ja luonnonkalojen elintoimintoihin. Helsinki 1992.
95. Torpström, Heikki & Lappalainen, Matti: Järvien biomanipulaation perusteita ja käytännön mahdollisuuksia. Helsinki 1992.
96. Salonen, Seija; Frisk, Tom; Kärmeniemi, Tellervo; Niemi, Jorma; Pitkänen, Heikki; Silvo, Kimmo & Vuoristo, Heidi: Fosfori ja typpi vesien rehevöittäjinä – vaikutusten arviointi. Helsinki 1992.
97. Assmuth, Timo; Strandberg, Tapio; Jouti, Anneli & Kalevi, Kirsti: Kemiallisesti saastuneiden maa-alueiden tutkimusmenetelmät. Helsinki 1992.
98. Kivimäki, Anna-Liisa: Tekopohjavesilaitokset Suomessa. Helsinki 1992.
99. Tanninen, Risto: Arvot ja asenteet Pyhäjoen vesiensuojelusuunnittelussa. Helsinki 1992.
100. Kuopion vesi- ja ympäristöpiiri: Rautalammin reitin vene- ja retkisatamasuunnitelma. Helsinki 1992.
101. Eloheimo, Karri: Veneily ja sen ympäristövaikutukset. Helsinki 1992.
102. Sytyke 16. Sannholm, Gun & Söderström, Mirja: Entsyymikäsittelyn merkitys sulfaattimassan valkaisuissa. Helsinki 1992.
103. Sytyke 9. Raitio, Laura: Siistausprosessin ympäristökuormitus. Helsinki 1992.
104. Sytyke 17. Jantunen, Esko: Jätevesipäästötön paperitehdas. Helsinki 1992.
105. Sytyke 10. Lehtinen, K.-J. & Tana: Effects in mesocosms exposed to effluents from bleached hardwood kraft pulp mill. Helsinki 1992.
106. Hudd, Richard; Toivonen, Anna-Liisa & Wistbacka Ralf: Malax å fiskeriutredning. Helsinki 1992.
107. Rontu, Mika: Pohjaveden alkalointi kalkkikivisuodatuksella. Helsinki 1992.
108. Kuopion vesi- ja ympäristöpiiri: Rautalammin reitti - Kansallisvesi. Helsinki 1992.
109. Sytyke 11. Junttila, Vesa: Sellutehtaan ympäristökuormitusten pienentäminen ja hallinta uudella tehdaslayoutilla. Helsinki 1992.
110. Sytyke 20. Kara, Mikko: Natrium- ja rikkitaseen säätömahdollisuuksia suomalaisessa sellutehtaassa. Helsinki 1992.
111. Kauppi, Marja: Repoveden alueen vesistöjen perusselvitys. Helsinki 1992.
112. Lindholm, Tapio (toim.): Sukkessiotutkimusten tuloksia Suomen ja SNTL:n luonnonsuojelualueilta. Helsinki 1992.
113. Sytyke 2. Hatakka, Annele; Valo, Marjatta & Lankinen, Pauliina: Puunjalostusteollisuuden jätevesien käsittely valkolahosienillä ja niiden entsyymeillä. Helsinki 1992.
114. Sytyke 19. Krogerus, Märten & Hynninen, Pertti: Sellu- ja paperiteollisuuden päästöjen käsittelyvaihtoehdot ja kustannukset. Helsinki 1992.
115. Hyvärinen, Pekka; Salojärvi, Kalervo; Pushkin, Sergei & Ahonen, Mikko: Kalojen vaellus Oulujärvestä Oulujokeen. Helsinki 1992.
116. Ettala, Matti & Koskela, Juhani: Kloorifenolipitoisten pohjavesien käsittely aktiivihiilisuodatuksella ja aktiivilietemenetelmällä. Helsinki 1992.

117. Sytyke 6. Myréén, Bertel: Suomen metsäteollisuuden tila vuonna 1995. Helsinki 1992.
118. Lyly, Olavi: Torjunta-aineiden käytön kannattavuus ja ympäristöhaittojen vähentäminen. Helsinki 1992
119. Sytyke 21. Laxén, Torolf: Organosolvkeittot. Helsinki 1992.
120. Sytyke 4. Pere, J; Thun, R; Alén, R; Kyllönen, H & Viikari, L: Metsäteollisuuden jäteliitteet. Helsinki 1992.
121. Vesihuoltolaitokset 31.12.1990. Helsinki 1992.
122. Sytyke 14. Siitonen, Heikki; Wartiovaara, Jyrki & Kasanen, Pirkko: Sellu- ja paperitehdas-integraatin ympäristönsuojelutoimien hyötyjen ja haittojen arviointi - casetutkimus. Helsinki 1992.
123. Sytyke 22. Malinen, Raimo: Skenaarioanalyysi massan valmistuksen kehitysvaihtoehtoista. Helsinki 1992.
124. Sytyke 22A. Vasara, Petri: Skenaarioiden tuottaminen ja analyysi massanvalmistukselle Suomessa 1995 - 2010. Helsinki 1992.
125. Törrtö, Heli; Kaakinen, Eero & Alasaarela, Erkki: Ympäristövaikutusten arviointi aluehallinnossa - esimerkkinä Oulun lääni. Helsinki 1992.
126. Ekholm, Matti: Suomen vesistöalueet. Helsinki 1992.
127. Aura, Erkki; Puustinen, Markku; Virtanen, Seija; Mikkola, Hannu; Luoma, Tarmo & Peltomaa, Rauno: Salaojitusmenetelmien vertailu Zaitsevon kenttäkokeessa. Helsinki 1992.
128. Sytyke 15. Puustinen, Jukka: Ravinteiden käytön optimointi metsäteollisuuden aktiivilietelaitoksissa.
Sytyke 3. Lammi, Reino & Pakarinen, Kauko: Typpiravinnelisäyksen vaikutus sellutehtaan aktiivilietelaitoksen toimintaan. Helsinki 1993.
129. Seppälä, Jyri: Ympäristöriskianalyysi teollisuudessa. Helsinki 1992.
130. Sytyke 18. Pihlaja, Kalevi (koordinaattori): Valkaistua sulfaattisellua valmistavan tehtaan jätevesien orgaanisen aineen hajoaminen ja ympäristövaikutukset. Helsinki 1993.
131. Lax, Hans-Göran; Koskenniemi, Esa; Sevola, Pertti & Bagge, Pauli: Tenojoen pohjaeläimistö ympäristön laadun kuvaajana. Helsinki 1993.
132. Sytyke 12. Kauppinen, Jyrki: Metsäteollisuuden hajuaineiden analytiikka ja seuranta. Helsinki 1993.
Sytyke 5. Välttilä, Olli: Biolietteen poltto.
133. Sytyke 10A. Lehtinen, K-J: Ecological impact of pulp mill effluents. Helsinki 1993.
134. Hirvi, Juha-Pekka (toim.): Operatiivinen ajelehtimis- ja kulkeutumismalli merialueille.
135. Nystén, Taina: Kärkölän likaantuneen pohjavesialueen geologia ja matemaattinen mallintaminen. Helsinki 1993.
136. Vesihuoltolaitokset 1991. Helsinki 1993.
137. Ullvén, Johanna: Simpukoiden soveltuvuudesta kloorifenolien tutkimiseen murtovedessä. Helsinki 1993.
138. Peura, Pekka: Happamoituminen Merenkurkun pienissä järvissä.
Peura, Pekka: Försurning av småsjöarna i Norra Kvarken. Helsinki 1993
139. Huttunen, Leena & Soveri, Jouko: Luonnontilaisen roudan alueellinen ja ajallinen vaihtelu Suomessa. Helsinki 1993.
140. Kaatra, Kai & Marttunen, Mika (toim.): Oulujoen vesistön säännöstelyjen kehittämisselvitykset. Helsinki 1993.
141. Suomela, Tapani: Tuusulan kunnan Hyrylän pohjavesialueen suojelusuunnitelma. Helsinki 1993.
142. Kauppi, Lea (toim.): Itäisen Suomenlahden lintukuolemat keväällä 1992. Helsinki 1993.
143. Lahti, Kirsti; Lepistö, Liisa; Niemi, Jorma & Färdig, Michael: Eri vesilaitosten tehokkuus levien ja erityisesti syanobakteerien poistossa. Helsinki 1993.
144. Koskimies, Pertti: Population sizes and recent trends of breeding birds in the nordic countries. Helsinki 1993.
145. Alasaarela, Erkki; Hellsten, Seppo; Keränen, Reijo; Kurtila, Terttu & Riihimäki, Juha: Säännöstelyjen järvien rantojen kunnostuksen ja hoidon periaatteet - esimerkkinä Oulujoen vesistö. Helsinki 1993.
146. Korkka-Niemi, Kirsti; Sipilä, Annika; Hatva, Tuomo; Hiisvirta, Leena; Lahti, Kirsti & Alftan, Georg: Valtakunnallinen kaivovesitutkimus. Helsinki 1993.
147. Ruonala, Seppo (toim.): SYTYKE-ohjelman projektien yhteenvedot. Helsinki 1993.
148. Ruonala, Seppo (red.): Sammandrag av projekten i programmet SYTYKE. Helsinki 1993.
149. Ruonala, Seppo (ed.): Summaries of SYTYKE-projects. Helsinki 1993.

150. Niinioja, Riitta: Lietelannan levitys ja ravinteiden huuhtoutuminen. Helsinki 1993.
151. Hynninen, Pekka (toim.): Pyhäjoen vesiensuojelun yleissuunnitelma. Helsinki 1993.
152. Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiiri: Pohjois-Karjalan vedet ja ympäristö 1990-luvulla. Helsinki 1993.
153. Rathmayer, Hans & Juvankoski, Markku: Tiivistemattoina käytettävät geomembraanit - toiminta-vaatimukset ja materiaalinvalintakriteerit. Helsinki 1993.
154. Vertanen, Suvi: Elinkaarianalyysi ja pakkaukset. Helsinki 1993.
155. Ahtela, Irmeli: Porvoon edustan merialueen tila vuosina 1985 - 1991. Helsinki 1993.
156. Mroueh, Ulla-Maija: Orgaanisten liuotteiden käyttö Suomessa. Helsinki 1993.
157. Hudd, Richard; Leskelä, Ari & Kjellman, Jakob: Kyrönjoen alaosan kalatalousselvitykset vuosina 1980 - 1990. Helsinki 1993.
158. Hottola, Petri : Lintuvesiohjelma puntarissa - Linnustوسelvitys Pohjois- Karjalan lintujärvillä. Helsinki 1993.
159. Luther, Annika: Muurahaiset ympäristön seurannassa. Kirjallisuusselvitys. Helsinki 1993.
160. Haatainen, Susanna; Hammar, Taina; Huovila, Juhani: Lahti, Erkki; Oksman, Heikki; Punju, Pirjo & Taipainen, Irmeli: Hyalotheca dissiliens -koristelevän runsastumisen syistä Rautalammin reitillä. Helsinki 1993.
161. Turun vesi- ja ympäristöpiiri: Kiskonjoen luonnontaloudellinen kehittämissuunnitelma. Helsinki 1993.
162. Porvari, Petri; Verta, Matti: Elohopea ympäristössä ja tekoaltaissa - kirjallisuuskatsaus ja arvio Vuoksen tekoaltaan hauen elohopeapitoisuuden kehittymisestä. Helsinki 1993.
163. Grönroos, Juha: Maatalouden ammoniakkipäästöjen vähentäminen. Vähentämismenetelmien arviointitutkimus. Helsinki 1993.
164. Heikkinen, Onni (toim.): Oulujärven vesiensuojelun yleissuunnitelma. Helsinki 1993.
165. Reuna, Marja, Perälä, Jaakko ja Aitamurto, Seppo: Lumen aluevesiarvoja Suomessa vuosina 1946 - 1993. Helsinki 1993.
166. Madekivi, Olli: Alusten aiheuttamien aaltojen ja virtausten ympäristövaikutukset. Helsinki 1993.
167. Shuibo, Pan (ed.) & Loukola, Erkki (ed.): Chinese-Finnish cooperative research work on dam break hydrodynamics. Helsinki 1993.
168. Vesihuoltolaitokset 1992. Helsinki 1993.
169. Virkanen, Juhani; Heikkilä, Raimo; Lindholm, Tapio: Kerrossammalten (*Hylocomium splendens*) raskasmetallipitoisuudet Kuhmossa 1989. Helsinki 1994.
170. Vuori, Kari-Matti: Hydropsychidae-heimon vesiperhostoukat ympäristökuormituksen mittareina virtaavissa vesissä. Helsinki 1993.
171. Keränen, Saara & Kokko Aira: Pesosjärven yhdenntetyn seurannan alueen kasvillisuus vuosina 1989 ja 1990. Helsinki 1993.
172. Kärkkäinen, Sirpa: Kolin alueen lehdot. Helsinki 1994.
173. Marttunen, Mika & Hiedanpää, Juha: Etutahojen suhtautuminen Kokemäenjoen keskiosan ja Loimijoen tulvasuojeluun. Helsinki 1994.
174. Krogerus, Kirsti & Bileletdin, Ämer: Kyrösjärven, Parkanonjärven ja Jämijärven vesiensuojelusuunnitelma. Helsinki 1994.
175. Rutanen, Ilpo: Etelä-Suomen vanhojen metsien kovakuoriaiset I. Helsinki 1994.
176. Rönkkömäki, Mauno: Hydrologisten mallien käyttö turvetuotantoalueiden vesiensuojelutekniikan kehittämisessä. Helsinki 1994.
177. Lindholm, Tapio & Airaksinen, Outi (toim.): Talaskankaan metsä- ja suoalueen luonnonsuojeluintentoinnit. Helsinki 1994.
178. Dahlbo, Helena: Kiinteän yhdyskuntajätteen metallivirrat – tutkimuksen kokeellinen osa ja yhteen-veto. Helsinki 1994.
179. Sandman, Olavi; Kauppi, Lea & Tossavainen, Tarmo: Metsäojitusten ja -lannoitusten aiheuttamien ravinnehuuhtoutumien pidätyminen järvikerrostumiin.
Sandman, Olavi; Turkia, Jaana & Huttunen, Pertti: Metsätalouden pitkäaikaiset vaikutukset suurissa järvissä, Kuhmon Änättijärven ja Lentuan sedimenttitutkimus. Helsinki 1994.
180. Lapin vesi- ja ympäristöpiiri: Lapin vesistöt ja ympäristö 1990-luvulla. Lapin vesien käytön, hoidon ja suojelun kehittämissuunnitelma. Helsinki 1994.
181. Malve, Olli; Ekholm, Petri; Kirkkala, Teija; Huttula, Timo & Krogerus, Kirsti: Säkylän Pyhäjärven virtaukset, ravinnekuormitus ja rehevyystaso. Helsinki 1994.

182. Kaila-Kangas, Leena; Kangas, Risto & Piirainen, Helena: Ympäristöasennebarometri. Helsinki 1994.
183. Vertanen, Päiviö & Viitasaari, Sauli: Nahanvalmistuksen jätehuolto ja jätevesien käsittely. Helsinki 1994.
184. Repo, Maire & Hämäläinen, Maria-Leena (toim.): Teollisuuden vesitilasto 1992. Helsinki 1994.
185. Valovirta, Ilmari & Heino, Mikko: Maanilviäiset ympäristön tilan seurannassa. Helsinki 1994.
186. Jämsen, Minna: Tekojärvien ja padottujen jokisuvantojen vaikutus Kalajoen veden laatuun. Helsinki 1994.
187. Kemikaaliohjelmatyöryhmä: Kemikaalien aiheuttamien ympäristöriskien hallinta. Vesi- ja ympäristöhallituksen toimintaohjelma. Helsinki 1994.
188. Mononen, Paula & Lozovik, Peter (toim.): Acidification of inland waters. Helsinki 1994.
189. Verta, Matti (toim.): Happikemikaalien käyttöön perustuvan massanvalkaisun ympäristövaikutuksia. Helsinki 1994.
190. Manninen, Pertti; Kivinen, Jarmo & Julkunen, Markku: Hyalotheca dissiliens -koristelevän aiheuttama pyydysten limoittuminen ja levän esiintyminen Mikkelin läänissä. Helsinki 1994.
191. Sulkakoski, Mikko: Humukseen sitoutuneen raudan poisto pohjavedestä biosuodatuksella. Helsinki 1994.
192. Vesihuoltolaitokset 1993. Helsinki 1994.
193. Heikkinen, Kaisa; Ihme, Raimo & Lakso, Esko: Ravinteiden, orgaanisten aineiden ja raudan pidättymiseen johtavat prosessit pintavalutuskentällä. Helsinki 1994.
194. Kullberg, Jaakko: Päiväperhosten käyttö ympäristön seurannassa. Helsinki 1994.
195. Reuna, Marja & Aitamurto, Seppo: Sadannan aluearvoja ja aluearvojen toistuvuuksia Suomessa vuosina 1911–1993. Helsinki 1994.
196. Rutanen, Ilpo: Metsäpalon vaikutuksesta kovakuoriaislajistoon Patvinsuon kansallispuistossa. Helsinki 1994.
197. Korhonen, Iris: Luonnon monimuotoisuus, in-situ -suojelu ja kansainvälinen oikeus – Alue-suojelun kansainväliset ulottuvuudet. Helsinki 1994.
198. Puustinen, Markku; Merilä, Eero; Palko, Jukka & Seuna, Pertti: Kuivatustila, viljelykäytäntö ja vesistökuormitukseen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla. Helsinki 1994.
199. Merilä, Eero: Suomen peltojen peruskuivatuksen tila ja tarve. Helsinki 1995.
200. Perkkiö, Simo; Huttula, Erkki & Nenonen Marjaleena: Simojoen vesistön vesiensuojelusuunnitelma. Helsinki 1995.
201. Marttunen, Mika & Kaatra, Kai (toim.): Kokemäenjoen keskiosan ja Loimijoen alaosan tulvasuojelun vaikutusten arviointi. Helsinki 1995.
202. Joensuu, Elina & Laihonon, Pasi: Ilman laadun seuranta Turun ja Porin läänissä. Helsinki 1995.
203. Reuna, Marja & Aitamurto, Seppo: Tilastotietoja vedenkorkeuden vaihteluista Suomessa. Helsinki 1995.
204. Iivonen, Pasi & Kenttämies, Kaarle: Happamoituneiden vesistöjen kalkitus Suomessa. Helsinki 1995.
205. Ekholm, Petri; Posch Maximilian & Rekolainen, Seppo: Accuracy and precision of annual nutrient load estimates from Nordic rivers. Helsinki 1995.
206. Nakari, Tarja: Kalojen sisäisten biologisten rytmien ja vuodenajan merkitys toksisuustutkimuksissa. Helsinki 1995.
207. Heikkilä, Hanna: Finnish-Karelian symposium on mire conservation and classification. Helsinki 1995.
208. Puustinen, Jukka; Jørgensen, Kirsten, S; Strandberg, Tapio & Suortti, Anna-Mari: Bioremediation of oil contaminated soil from service stations. Helsinki 1995.
209. Nieminen, Hanna: Kotitalousjätteen keräys ja kuljetus. Helsinki 1995.
210. Heikkinen, Risto & Husa, Jukka: Luonnon- ja maisemansuojelun kannalta arvokkaat kallioalueet. Helsinki 1995.
211. Viikinkoski, Kari & Hynninen, Pekka (toim.): Liminganlahden vesistöalueen vesiensuojelusuunnitelma. Helsinki 1995.

Suureen osaan Suomen virtavesiä on tehty puutavaran uittoa helpottavia rakenteita. Usein kaikki koskialueet on perattu puiden kulun helpottamiseksi. Koska irtouitto on loppunut viimeisiltäkin virtavesiltä, ollaan monia vesistöjä parhaillaan kunnostamassa uiton jäljiltä. Yksi suurimmista kohteista on lijoen vesistöalue, missä kunnostustöitä on tehty vuodesta 1988 lähtien.

Tässä julkaisussa esitellään lijoen vesistöalueella käytettyjä kunnostusmenetelmiä ja töihin liittyneiden tutkimus- ja kehittämishankkeiden tuloksia.